第八篇

井巷工程

第一章　井巷断面设计

第一节　平巷断面设计

平巷在矿山井巷工程中所占比重最大，占 70% ~ 80%。矿山平巷有平硐、石门、车场、阶段运输平巷、回风平巷、电耙道、人行通道等。平巷断面设计主要是确定巷道的断面形状及尺寸，选择支架的形式与结构。

一、平巷断面形状的选择

我国矿井中使用的巷道断面形状有矩形、梯形、多边形、拱形、马蹄形、椭圆形以及圆形等（图 1 - 1），经常使用的是梯形和拱形两种。上述各种断面形状按其构成的轮廓线可归纳为折线形和曲线形两类。

木材作为矿井中主要支护材料时，矩形和梯形是最常采用的断面形状。矩形断面布置设备的断面利用率最高，但它只能较好地承受顶压，承受侧压的能力差。梯形断面能承受一定的侧压。它们共有的特点是支架结构简单、施工方便。为克服矩形断面承受侧压性能差的缺点，我国一些矿井采用片石砌墙加钢梁的矩形断面作为主要运输大巷的断面形状。在巷道侧压小，顶板岩石较好，为避免挑顶破坏顶板完整的情况下，可用锚杆支护梯形断面巷道。

一些矿井常用工字钢或废钢轨作为支架支护梯形断面采准巷道，因为这种巷道服务期限短，金属支架可以回收复用。

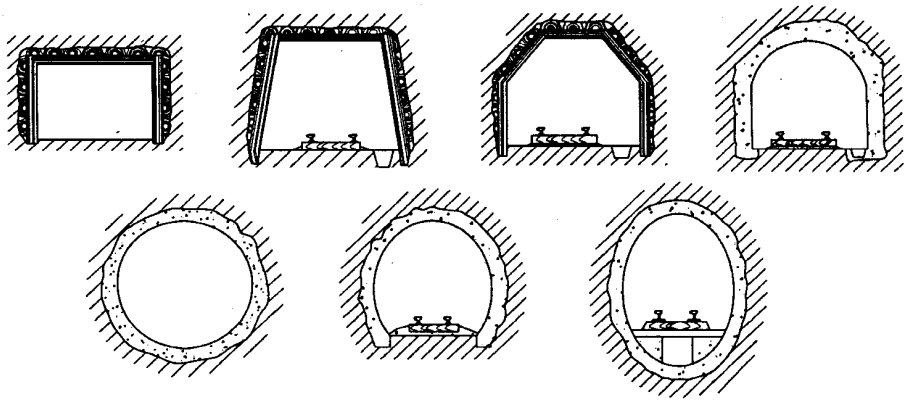


图 1－1　巷道断面形状

砖石或混凝土适用于拱形、马蹄形以及圆形等断面。拱形断面巷道能承受较大的顶压和一定的侧压，料石砌筑的拱形巷道是我国目前矿山主要巷道的基本形式，优点是防火、耐腐蚀、服务期限长，但砌筑费工，施工机械化是迫切需要解决的问题。当侧压很大，尤其是有底压时，可采用封闭曲线形断面——圆形、马蹄形或椭圆形。它们的结构稳定，能承受多向压力，但断面利用率低，施工复杂，施工速度慢。

随着采矿技术的发展，支护材料的更新，各种断面形状的适应性也随之发展。例如，用掘进机开凿巷道采用圆形断面是合理的，而断面利用率低就不再视为一个严重的缺点。

我国某些矿井开采深度已达 1000m 以上，巷道围岩有很大的多向压力。因此，常采用带反拱的马蹄形及圆形断面。为提高此类形状断面的利用率，双轨线路断面可将人行道布置在中间。国外许多矿井在折返式井底车场中，已用一条椭圆形或圆形大断面巷道布置多轨线路以代替空重车绕道，上层行人、下层行车，底层富裕面积则作为水仓（图 1－2），简化了井底车场形式，提高了井底车场调车及生产能力。

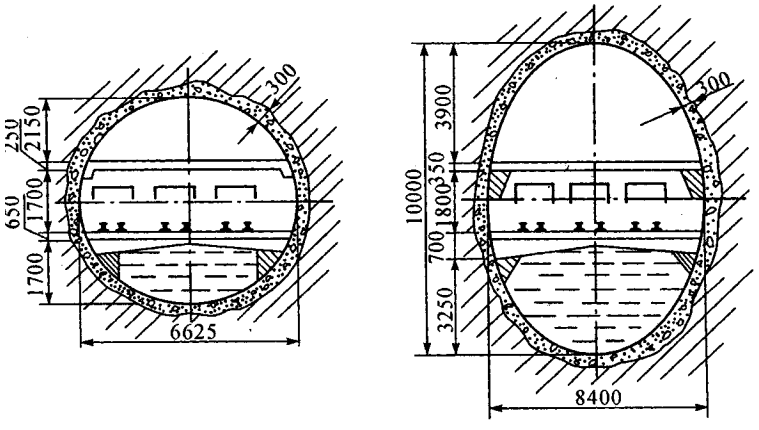


图 1－2　圆形与椭圆形巷道断面

巷道断面形状的选择主要应考虑下列因素：

（1）巷道的围岩性质及地压。当顶压和侧压均小时，可采用梯形或矩形断面；当顶压较大侧压较小时，则应选择拱形断面；在侧压很大并有底压时，宜采用封闭的曲线形断面。

（2）支架的材料。木材支架和工字钢棚宜用梯形、矩形等折线形断面；U 型钢、砖、石及混凝土砌筑的支架适用于曲线形断面；锚杆支架可适用于任何形状的断面；喷射混凝土则适宜曲线形断面。

（3）巷道的用途及其服务期限。服务期限长的主要巷道，宜用料石及混凝土砌筑的拱形断面，金属支架（包括梯形及弧形支架）适用支护受采动压力影响的采准巷道，因其服务年限短，便于回收复用。

二、平巷断面尺寸的确定

巷道断面尺寸既要满足安全使用要求，又要尽量减少掘进工作量。运输巷道断面尺寸根据运输设备的类型和数量、运行速度、轨道数目、支护材料、结构形式和各种安全间隙等来确定，然后用通过该巷道的风速进行校核。梯形及拱形断面是目前我国矿山巷道中最常用的断面形状，其尺寸的确定方法如下：

（1）巷道净宽度 B0 的确定

拱形巷道的净宽度指直墙内侧的水平距离（图 1－3），可用下列公式计算双轨运输巷道净宽度。

$$B_0 = 2b + b_1 + b_2 + m \qquad (1-1)$$

或

$$B_0 = b + b_1 + b_2 + F \qquad (1-2)$$

式中　b——运输设备的宽度，见表 1－1；

b_1——运输设备到支架的间隙，从表 1－3 选取；

b_2——人行道宽度，见表 1－2；

m——两对开列车最突出部分间隙；

F——双轨运输线路中心线间距，在采区装载点和矿车摘挂钩地点应满足 $m \geqslant 700\text{mm}$，在任何情况下均应满足 $m \geqslant 300\text{mm}$。

梯形巷道净宽，无运输设备的巷道指巷道净高的 1/2 处；有运输设备的巷道，指从巷道道砟面起 1.6m 的高度内设备外形轮廓的最大尺寸处的宽度。

运输平巷内一般均应设置人行道，并保证行人安全与方便；双轨运输线路之间及溜矿口（或卸矿口）一侧禁止设置人行道；人行道尽量不穿或少穿线路；在人行道侧敷设管

路(架高敷设除外)时,要相应增加入行道宽度。

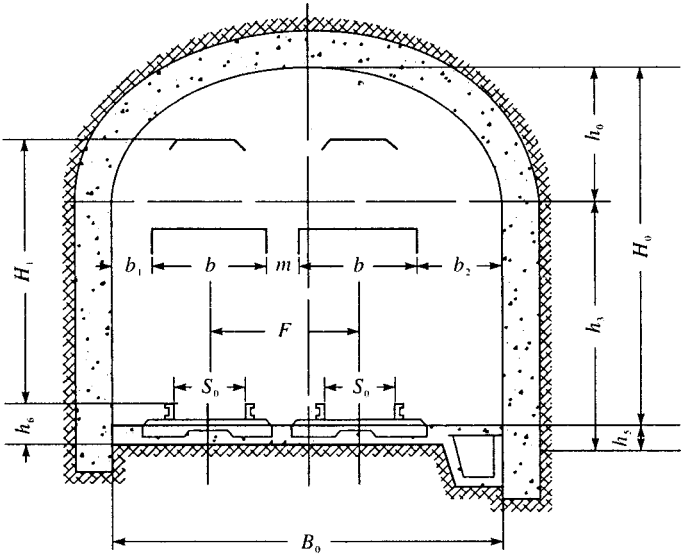


图 1-3　巷道净尺寸

表 1-1　我国电机车与矿车车辆尺寸

车辆类型		轨距(mm)	外形尺寸		
			宽度(mm)	高度(mm)	长度(mm)
7t 或 8t 架线电机车(或 8t 蓄电池机车)		600	1060	1550	4500
10t 架线或 8t 蓄电池机车		900	1360	1550	4500
0.5t 矿车		600	750	1100	1500
1t 矿车		600	880	1150	2000
YGC1.2(6)(7)		762	1050	1200	
3t 矿车		900	1320	1300	3450
平巷用人车		600	1020	1450	4300
无轨胶轮车(牵引车)	英国 913BUS		2002	1880	8763
	美国 LS-5S-14X		2600	1220	8700
	澳大利亚 MPV—MK11		2360	1350	7100

表 1-2　人行道宽度(mm)

人推车	电机车		人车停车处巷道两侧	矿车摘挂钩处巷道两侧
	<14t	≥14t		
800	800	≥800	≥1000	≥1000

表 1－3　运输设备到支架的间隙(mm)

支架材料		砖、石、混凝土及钢筋混凝土砌碹	不支护、木支护及喷锚支护
运输设备	固定式矿车及小于 3.5m³ 的侧卸式矿车	≥300	≥300
	大于或等于 3.5m³ 的侧卸式(底卸式)矿车	≥300	≥300～350
	无轨胶轮车	≥300	≥300

在标准巷道设计中,电机车运输时一般轨距为 600mm,两轨道中心线间距为 1300mm;对于采用 900mm 轨距的双轨巷道,轨道中心线间距应为 1600mm。确定巷道断面尺寸时,可先用上述尺寸设计轨道中心线间距,然后按通过运输设备的最大宽度验算两线路中心距能否满足要求。

在设计曲线巷道时,应考虑车辆由于转弯使车缘外凸增加了车辆计算宽度,巷道需适当加宽,才能满足安全要求。曲线巷道加宽值由内侧加宽值、外侧加宽值和线路中心距加宽值三部分组成。采用电机车运输的曲线巷道,其内侧加宽值取 100mm,外侧加宽值和线路中心距加宽值各取 200mm。决定巷道宽度虽有上述一些规定,但在设计时还要做具体分析。计算出的平巷净宽度 B_0,向上化为以 50mm 为进位的整数。

随着矿井开采规模不断扩大,矿井生产集中化、机械化和设备重型化的发展,原来的辅助运输手段已经不能很好地适应生产需要。近年发展起来的无轨车是新型的运输设备,在英国、美国、澳大利亚等国家得到广泛应用。

无轨胶轮车又称自行矿车,不需轨道,使用灵活,可以直接在巷道较硬的底板上运行,矿车重载爬坡能力可达 12°～14°。前部为牵引车,一般由柴油机或蓄电池作为动力;后部为承载车,可以在很小的曲率半径(3～6m)内转弯。无轨胶轮车根据用途不同,型号、尺寸也各不相同。合理选用无轨运输可以大大提高全矿井效率,显著降低运输费用,但是它对巷道条件要求较高,特别是巷道断面尺寸的要求,其宽度一般应大于 5m。无轨运输一般不设车场和硐室。

(2)巷道净高度 H_0 的确定

巷道净高度是指道砟面至拱顶内缘(或是梯形巷道顶梁下缘)的铅直距离。巷道的高度必须保证行人的方便及运输的安全。主要运输巷道和主要通风巷道的净高不得低于 2m;采区(采场)内的通风巷道、出矿巷道等净高不得低于 1.8m;采用木支架和钢筋混凝土预制支架的巷道应考虑 100mm 的沉降值。

有关巷道高度的具体选择如下:

①梯形断面巷道

架线电机车运输时，轨面至棚梁的高度可取 2200mm 或 2400mm，架线高则分别为 2000mm 或 2200mm；蓄电池电机车运输应不小于 1900m；一般轨道上、下山及木棚支护的轨道巷可取 1800mm。不设轨道的采区巷道，底板至棚梁的高度视巷道用途及巷道的倾角大小而定，一般不应小于 1800mm。梯形巷道的棚腿对水平面的倾角一般为 80°～82°。

②拱形断面巷道

巷道底板到轨面高度 h_6 和道砟高度 h_5 应与轨道类型相适应，巷道轨型选择见表 1－4，h6 和 h_5 的选择见表 1－5。

表 1－4　轨型选择表

使用巷道类型	运输设备类型	钢轨型号(kg/m)
主要运输巷道	14t 电机车	24
	10t 电机车	18～24
	7～8t 电机车	15～18
	5(以下电机车	15
上下山及中间巷道	3t 矿车	15～18
	1t 矿车	11～15

表 1－5　轨道结构尺寸参考表

钢轨型号(kg/m)	钢筋混凝土轨枕(mm)		木轨枕(mm)	
	底板～轨面 h_6	底板～砟面 h_5	底板～轨面 h_6	底板～砟面 h_5
8	320(260)	160(100)	300(250)	140(100)
11	320(270)	160(100)	320(260)	140(100)
15	350	200	320	160
18	350	200	320	160
24	400	250	350	200
33	420	250	360	220

巷道底板到拱基线高 h_3 是根据电机车架线高度、行人和管道架设等高度的要求计算确定。当用架线电机车时，要求九，满足导电弓顶端两切线交点与拱壁间距不小于

200mm；当用蓄电池电机车或其他方式运输时，h_3 应保证人行道在高度 1800mm 的范围有不小于 600mm 的宽度为原则。在架线电机车运输的巷道顶部安装管路，则要求导电弓距管子的距离不得小于 300mm，管子下边能满足 1800mm 高度的人行道。

拱的高度常以与巷道净宽之比来表示，通常称高跨比。根据岩体力学原理可知，巷道顶压较大时，宜选择半圆拱形，顶压较小可选用低拱形。一般认为拱高 $h_0=(0.35\sim0.4)B_0$ 是合理的拱高范围。所以巷道圆弧拱和三心拱形断面多取 $B_0/3$，巷道围岩较稳固时可取 $B_0/4$，甚至 $B_0/5$。

巷道净高度 H_0 的计算式为：

$$H_0 = h_3 + h_0 - h_5 \tag{1-3}$$

式中　h_3——拱形巷道墙高；

h_0——拱形巷道拱高；

h_5——道砟厚度。

设计巷道时，若有两种以上情况，计算墙高后应取最大值，并按 10mm 的倍数向上取整。

三、轨道、水沟和管线布置

(1)轨道布置

巷道轨道由钢轨、轨枕和道砟三部分组成(图 1-4)。不同巷道应按表 1-4 选择不同型号的钢轨，轨枕、道砟应与钢轨类型相适应(表 1-5)。

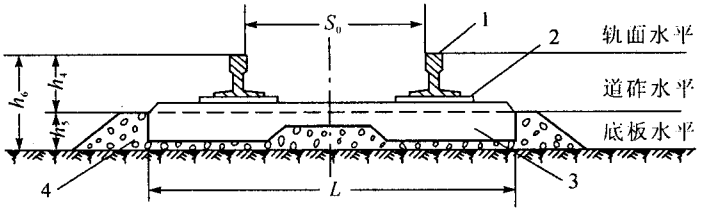


图 1-4　轨道示意图

1—钢轨；2—垫板；3—轨枕；4—道砟

井下窄轨线路的木轨枕规格通常有长 1200mm，上宽、下宽与高为 120mm×150mm×120mm 和长 1200mm，上、下宽与高度为 130mm×160mm×140mm 两种，分别用于 15～18kg/m 或 24kg/m 的钢轨，轨距为 600mm 或 900mm。为节约木材，目前我国矿井中已广泛使用钢筋混凝土轨枕。常用的钢筋混凝土轨枕的规格见表 1-6。

表 1－6　常用钢筋混凝土轨枕规格

名　称	规　格(mm)			
	长　度	全　高	宽　度	
			上　宽	下　宽
600mm 轨距钢筋混凝土轨枕	1200	120	120	150
900mm 轨距钢筋混凝土轨枕	1500	130	120	160

(2)水沟布置

水沟布置应遵循下列原则:水沟一般应布置在人行道一侧,其坡度与巷道坡度相同,为 3‰～5‰;水沟应加盖板,常采用钢筋混凝土预制板作盖板;当混凝土支护或不支护时,水沟侧帮坡度一般为 1∶0.1～1∶0.25;水沟充满度取 0.75;水沟中的最大流速:当混凝土支护时为 5～10m/s,不支护时为 3～4.5m/s;水沟的最小流速应满足泥砂不沉淀的要求。水沟尺寸根据通过巷道的涌水量和巷道坡度选取(图 1－5、表 1－7)。

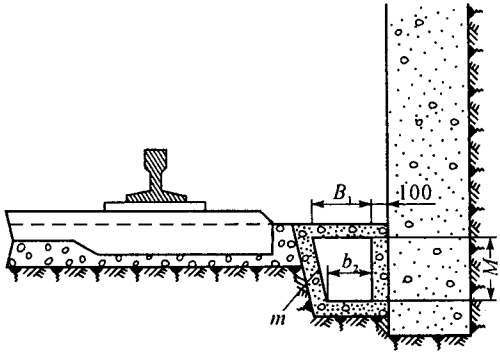


图 1－5　水沟布置图

表 1－7　巷道水沟特征表

涌水量(m^3/h)				水沟净尺寸(mm)			水沟断面(m^2)		海米材料消耗量		
									水沟支护	水沟盖板	
i = 3‰		i = 5‰		上宽	下宽	深度	净	掘	混凝土(m^3)	混凝土(m^3)	钢材(kg)
从	到	从	到								
0	100	0	120	310	280	200	0.059	0.132	0.073	0.029	1.21
101	150	121	180	330	280	250	0.078	0.161	0.083	0.029	1.21
151	200	181	260	350	310	300	0.099	0.192	0.093	0.029	1.21
201	300	261	340	400	360	350	0.133	0.238	0.238	0.029	1.21

(3)管线布置

巷道中常需布设各种管线,如压风管、排水管、供水管、电缆等。这些管线的布置要考虑生产安全和工人检修操作方便。主要运输巷道和回风巷道内,管线的敷设应符合下列要求:①一般情况下管道设在人行道一侧,管道的架设可采用管墩、托架或锚杆吊挂等方式。②动力电缆和信号电缆不宜设在同一侧,如必须设在同一侧时,要分开悬挂,动力电缆在下,并保持 300mm 以上的距离;电缆与其他管道平行敷设时,电缆要悬挂在管道上方,并隔开 300mm 以上的距离。③电缆悬挂高度应保证当矿车掉道时不致撞击电缆,电缆坠落时不致落在轨道上或运输设备上。

运输巷道中管道布置见图 1-6。

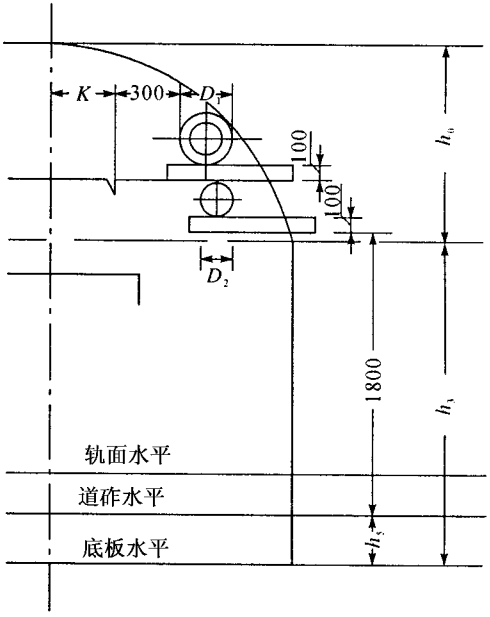


图 1-6　管道布置图

(4)风速验算

因巷道中风速过大会扬起粉尘,影响工人健康和工作效率,故矿山安全规程规定了各种用途的巷道允许的最高风速。风速 V 计算公式可写作:

$$V = \frac{Q}{S} \leqslant V_{允} \tag{1-4}$$

式中　Q——要求通过该巷道的风量,m^3/s;

S——巷道的净断面积,m^2;

$V_{允}$——允许通过的最大风速,m/s。

验算后，若风速超过允许最高风速，则应修改断面尺寸。

四、绘制断面图并计算材料消耗

根据上述有关尺寸和参数的确定方法，计算出相关结构尺寸，然后按 1:50 比例绘制断面图。根据以上计算列出梯形和拱形巷道断面特征表和材料消耗表。

五、巷道断面设计示例

【例 1－1】 某矿运输大巷采用 ZK10－6/550 架线式电机车牵引 3t 底卸式矿车运输，矿井设计生产能力为 150×10^4 t/a，大巷布置在砂页岩中，地压中等，矿井设计服务年限 60a，通过该大巷的风量为 84m^3/s，试设计该巷道断面。

【解】 根据上述条件，该大巷应该设计为双轨断面，选择断面形状为半圆拱形，采用锚喷支护，且由通风条件知，该巷道净断面积应大于 10.5m^2。

（1）半圆拱形巷道断面轮廓几何尺寸的确定

①双轨巷道净宽度 B_0

进行巷道断面尺寸计算之前，应根据所给条件绘制计算草图（图 1－7）。由式（1－1），取 $b=1200$mm，$b_1=300$mm，$b_2=800$mm，$m=200$mm，计算得到 $B_0=3700$mm。

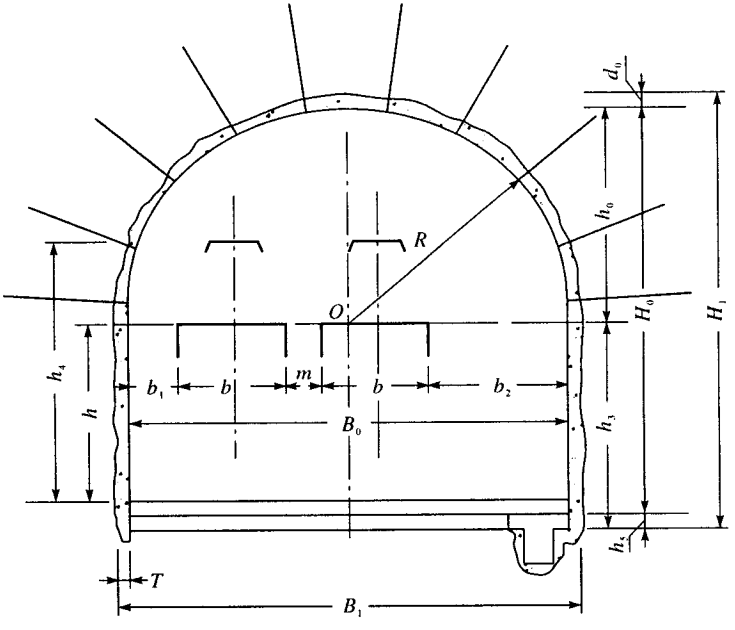


图 1－7　半圆拱形巷道断面计算图

②巷道净高度 H_0

先以人行道要求确定直墙高度。墙高应满足距墙 100mm 处的巷道有效净高不低于 1800mm，由此而得半圆拱形巷道断面直墙高度 $h3$ 的计算式为：

$$h_3 = 1800 + h_5 - \sqrt{R_2 - (R - 100)^2}$$

式中 R 为半圆拱的半径，本例中，R 为 1850mm；h_5 取 200mm。

计算得到 $h_3 = 1400\text{mm}$。

再根据架线要求确定直墙高度。按电机车导电弓顶端两切线的交点处与巷道拱壁之间的距离不小于 200mm 来考虑，得半圆拱形巷道断面的直墙高度 h_3 的计算式为：

$$h_3 = h_4 + h_6 - \sqrt{(R - 200)^2 - (K + Z_1)^2}$$

式中　h_4——轨面水平至电机车架空线的高度，取 2000mm；

h_6——巷道底板至轨面的高度，取 320mm；

K——电机车导电弓宽度之半，取 360mm；

Z_1——非人行道侧轨道中心线至巷道中心线之间的距离，本例为 950mm。

计算得到 $h_3 = 1316.8\text{mm}$。

进一步根据架设管、线和电缆的要求确定直墙高度。管、线和电缆下面除应满足 1800mm 的人行高度外，还要求电机车导电弓距管线的距离不小于 300mm。于是 h3 的计算式可表达为：

$$h_3 = 1800 + h_5 + e - \sqrt{R^2 - (K + 300 + Z_2 + D_1)^2}$$

式中　Z_2——双轨巷道行人侧的轨道中心线与巷道中心线之间的距离，为 450mm；

D_1——上部管道直径，取 200mm；

D_2——下部管道直径，取 100mm；

e——管道所占高度，上、下部管道直径与管托横梁高度之和，$e = D_1 + D_2 + 100$。

计算得到 $h_3 = 1093.7\text{mm}$。

最后根据行人要求确定直墙高度。要求从巷道砟面往上 1.6m 的高度内，设备外缘与巷道壁之间必须留 0.8m 以上的人行道，有：

$$h_3 = 1600 + h_5 - \sqrt{R^2 - \left(\frac{b}{2} + 800 + Z_2\right)^2}$$

计算得到 $h_3 = 1800\text{mm}$。

按行人要求取 $h_3 = 1800\text{mm}$。

由 $H_0 = h_3 + h_0 - h_5$，计算得到 $H_0 = 3450\text{mm}$。

③巷道掘进宽度 B_2

$$B_2 = B_0 + 2T + 2\delta$$

式中　T——砌碹或锚喷厚度，取 100mm；

δ——掘进巷道的超挖值，取 50mm。

计算得到 $B_2 = 4000\text{mm}$。

④巷道设计掘进高度 H_1

$$H_1 = h_3 + h_0 + d_0 + \delta$$

式中　d_0——拱壁砌碹或喷射混凝土厚度，取 100mm。

计算得到 $H_1 = 3800\text{mm}$。

⑤巷道净断面积 S

$$S = B_0(0.39B_0 + h_3 - h_5) = 11.26\text{m}^2$$

该断面积符合通风条件的要求。

⑥掘进断面积 S_2

$$S_2 = B_2(0.39B_2 + h_3) = 13.44\text{m}^2$$

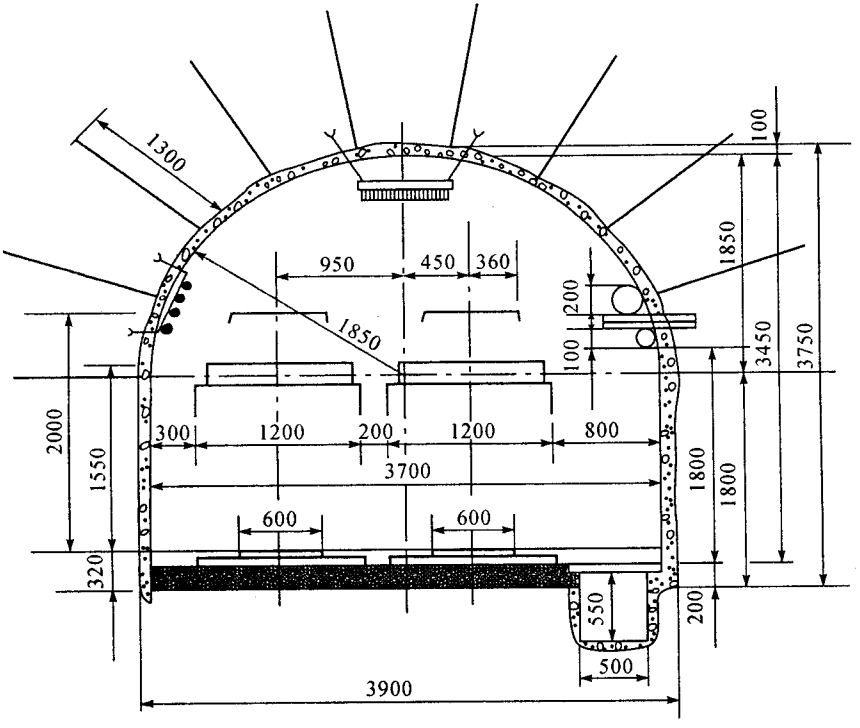


图 1－8　运输大巷断面图

⑦巷道净周长 P

$$P = 2.57B_0 + 2(h_3 - j_5) = 12.71\text{m}$$

(2)绘制出巷道断面施工图

根据上述计算,按照一定的比例绘制出巷道断面施工图,如图 1-8 所示。列出巷道断面特征表和每米巷道材料消耗量表,此处仅列出巷道断面特征表(见表 1-8),后者从略。

表 1-8　巷道断面特征表

名称	普氏系数 f	断面形状	支护形式	断面积		净周长	最大允许通过风量
				净	掘		
单位		半圆拱	锚喷	m^2	m^2	m	m^3/s
数量	6			11.26	13.44	12.71	90

第二节　竖井断面设计

一、竖井井筒装备

(1)竖井井筒断面形状选择 竖井断面形状目前应用较多的是圆形和矩形两种。矩形多用木支护,适用于服务年限短(15 年以下),提升量小,井筒穿过岩层的物理力学性质较好,无渗水或少渗水的中、小型矿山。矩形井筒的特点是通风阻力大,但断面利用率较高。圆形井筒多采用料石、混凝土块、钢筋混凝土支护,少数井筒用砖支护。竖井采用喷射混凝土支护的越来越多,特别是配合钢丝绳罐道多绳提升,其优越性更加显著。圆形井筒多用于提升量大,服务年限长(大于 15 年),地压较大的大、中型矿山。圆形井筒的特点是通风阻力小、维护费少,但断面利用率低。井筒断面形状及支护形式的选择主要考虑井筒用途、井筒装备、服务年限、井筒所穿过岩层的物理力学性质、水文地质等条件,还要考虑施工方便。

(2)竖井井筒装备

在有提升设备的立井井筒内,为了消除提升容器在提升过程中的横向摆动,保证提升的安全,必须安有导向装置——罐道和罐道梁,即所谓井筒装备。按井筒装备的罐道类型不同,可分为刚性罐道和柔性罐道。此外,根据井筒的用途,井筒内有时还设有梯子

间和管子间等。

①罐道梁

罐道梁在井筒内的布置主要是应满足罐道、梯子、管缆固定的需要。罐道梁的固定，有的是两端固定在井壁上，有的是一端固定在井壁上，另一端固定在其他罐道梁上。罐道梁有金属的、钢筋混凝土的和木材的三种。木罐道梁由于强度低、易腐朽、使用年限短，现已很少采用，但在小型金属矿或煤矿的矩形断面井筒中配合木井框支护也有使用。为了节省钢材，我国在少数矿井采用过预应力钢筋混凝土罐道梁，但其制造安装复杂，占井筒断面大，因此未得到推广，只适宜在井深不大而有条件的中、小型矿井或有侵蚀性淋水的井筒中采用。金属罐道梁在我国矿山中使用比较广泛，其优点是强度大、占井筒断面小、使用期限长、施工安装方便。金属罐道梁多采用工字钢，个别情况下采用槽钢。罐道梁型号一般根据提升终端荷载的大小凭经验选取。

②罐道

罐道是提升容器升降时沿其滑行或滚动以控制其运行方向的导向设备。

a)刚性罐道。分为木罐道、钢轨罐道和空心矩形金属罐道，如槽钢组合罐道、热轧方形钢管罐道等。刚性罐道材料及断面形状的选择，与罐道的布置形式、提升容器终端荷载以及提升速度的大小有关。

木罐道：木罐道强度低，使用期限短，一般在提升终端荷载不大、服务年限不长的罐笼井中采用。木罐道的断面尺寸可按公式计算并配合罐笼选定，常用木罐道的断面尺寸为 180mm × 150mm、200mm × 180mm。由于钢丝绳防坠器的广泛使用，木罐道逐步被金属罐道所取代。

钢轨罐道：钢轨罐道是金属罐道中最常见的一种，通常采用 38kg/m 或 33kg/m 的钢轨，个别情况也用 43kg/m 的钢轨。与木罐道相比，具有强度大、使用年限长的优点，故多在提升终端荷载较大、服务年限长的竖井中采用。钢轨罐道是利用罐道卡固定在罐道梁上。

槽钢组合罐道：是由两个槽钢组合焊接而成。特点是刚性大，抗侧向弯曲和扭转能力大，并可配合使用弹性橡胶滚轮罐耳，因此提升容器运行平稳，罐道磨损小，使用年限长，是一种先进的刚性罐道。尤其是对于提升终端荷载大、提升速度快的井筒，使用这种罐道更为合适。槽钢组合罐道一般在其靠罐道梁一侧焊接连接件，再用罐道卡或螺栓连接固定在罐道梁上。

b)柔性罐道。钢丝绳罐道是柔性罐道的一种，是将钢丝绳两端固定在井架上和井底，并拉紧作为罐道，提升容器沿着钢丝绳上、下运行。钢丝绳罐道是一种较先进的井筒

提升导向装置。与刚性罐道相比有以下优点:井筒内不需安设罐梁,可节省大量钢材,降低建井投资;结构简单,安装方便,井筒施工时无需预留梁窝,可加快井筒建设;便于维修,使用寿命长,更换钢丝绳简单,对生产影响小;提升容器运行平稳,减少动力消耗;井内无罐梁,减少通风阻力,减轻了井壁的荷载,提高了井壁的整体性。

钢丝绳罐道与刚性罐道相比有以下缺点:因钢丝绳罐道具有弹性,所以提升容器在运行时有较大的横向摆动,提升容器之间及提升容器与井壁之间需留有较大的安全间隙;在井底为了固定钢丝绳,必须加深井底水窝;由于悬挂钢丝绳及拉紧装置,增加了井架的负荷。

二、竖井井筒断面设计

(1)井筒格间划分和断面布置

竖井井筒横断面通常根据其用途划分为若干个格间,如提升间、梯子间、管缆间和平衡锤间等。上述这些格间在竖井横断面上均占一定的位置,称为井筒断面布置。其具体布置形式与下列因素有关:格间的多少;提升容器的类型、规格和数量;井筒装备的类型及其布置形式。

①提升间

提升间的布置是根据提升容器的类型、规格、数量和井筒装备的类型及其布置形式确定的。竖井提升容器分箕斗和罐笼两大类。提升间的布置必须注意:罐笼间布置要与井底车场及地面出车方向一致。箕斗间箕斗口要与井下装载硐室及地面矿仓的位置相对应。双箕斗提升,两箕斗必须并列布置。罐笼间的出车口,不应对准梯子间,而梯子间应紧靠罐笼间,以便人员在提升途中遇到停电等情况时,易于从梯子间出井。

②梯子间

在提升人员的井筒内,必须设置梯子间作为停电及井下发生突然事故时的安全出口,平时可用来检修井筒装备和处理提升设备或容器故障。梯子间是由梯子、梯子梁和梯子平台组成,一般布置在井筒一侧,并用隔板与提升间、管子间等隔开。梯子间的布置形式有交错、并列及顺列三种,见图 1-9。采用哪种布置,主要结合提升容器的布置和尽量利用井筒空余断面的原则来决定。梯子间的布置应符合以下规定:梯子安装的倾角一般不大于 80°;相邻两梯子平台的距离不应大于 8m;平台梯子口尺寸不应小于 0.6m × 0.7m;梯子上端应伸出平台 1m;梯子下端与井壁的距离不小于 0.6m;梯子宽度不小于 0.4m,脚踏间距不大于 0.3m。

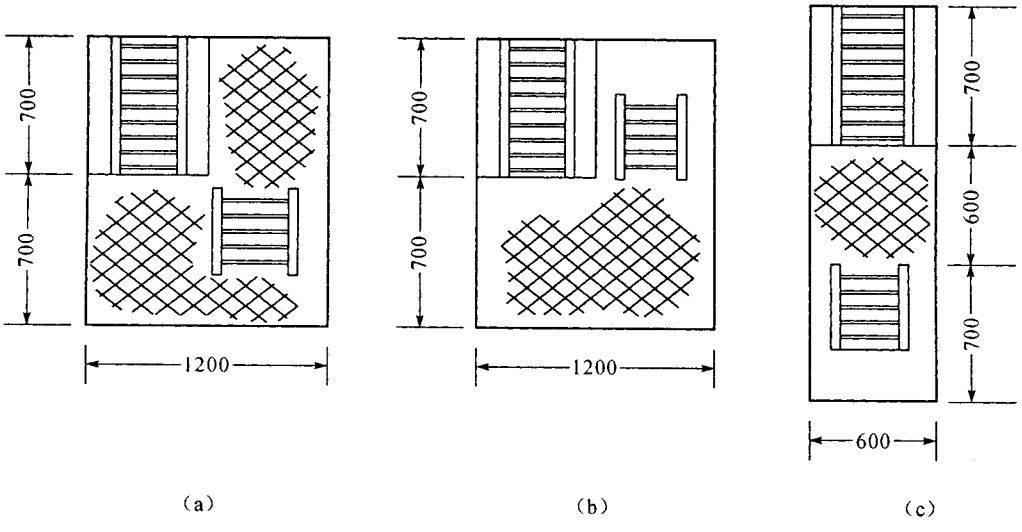


图 1－9　梯子间布置形式

(a)交错梯子间;(b)并列梯子间;(c)顺列梯子间

③管子间及电缆敷设

井筒内需设专门的管子间敷设管道以输送压缩空气、供水与排水。管子间一般布置在副井井筒内,并靠近梯子间。管子间应按管子法兰盘的最大外径尺寸布置,并留有安装、检修和更换的空间位置。管子是用 U 形或钩形管子卡固定在梯子主梁或次罐道梁上。在管子间内除布置管道外,还设有动力、通讯、信号等电缆。电缆一般用电缆卡子固定在梁上,或把电缆卡子一端浇注在井壁上。动力电缆和信号电缆应分开架设,两者间距要在 0.3m 以上。

(2)确定井筒断面尺寸

井筒断面尺寸确定的步骤见图 1－10。

①确定井筒断面尺寸的基础资料

基础资料包括:提升容器的数量和尺寸;井筒装备类型;井筒布置;通风要求等。

②普通罐笼井井筒断面尺寸的确定方法

a)提升间和梯子间尺寸的确定

图 1－11 为刚性罐道、罐笼提升带梯子间的井筒断面计算图。初步选定井筒断面布置、罐笼规格及罐道、罐道梁尺寸型号后,可按下列步骤计算井筒断面内提升间和梯子间尺寸。

罐道梁中心线间距 L_1 和 L_2 可按下式求出:

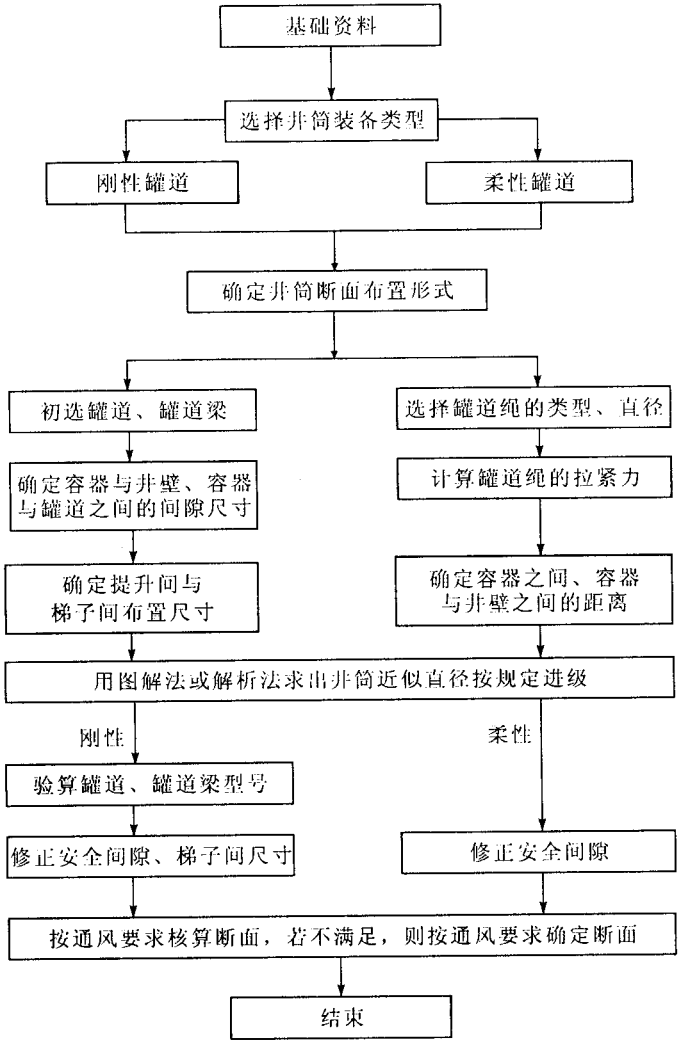


图 1－10　井筒断面尺寸确定的步骤

$$L_1 = a + 2(h - \Delta) + \frac{b_2}{2} + \frac{b_1}{2} \tag{1-5}$$

$$L_2 = a + 2(h - \Delta) + \frac{b_3}{2} + \frac{b_1}{2} \tag{1-6}$$

式中　a——两侧罐道之间的距离，可从罐笼规格表中查出；

h——木罐道厚度，“矿车罐笼为 180mm，3t 矿车罐笼为 200mm；

Δ——钢罐梁卡入木罐道内的厚度，1t 矿车单层单车罐笼为 16mm，1t 矿车双层单车罐笼及 3t 矿车单层单车罐笼为 20mm；

b_1、b_2、b_3——分别为 1 号、2 号、3 号罐梁宽度，可根据经验预选。

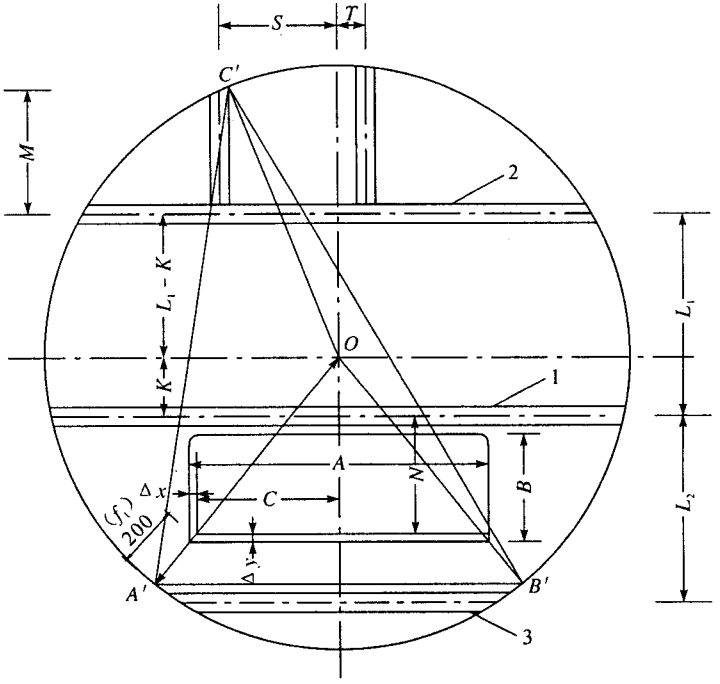


图 1－11　罐笼提升井筒断面计算图

A—罐笼长度；B—罐笼宽度；1、2、3—1 号、2 号、3 号罐道梁；

Δx、Δy—普通罐笼拐角收缩尺寸，其转角为圆角；M 一梯子梁长度；

S、T—梯子梁到井筒中心线距离；L_1、L_2—分别是 1 号、2 号罐道梁，3 号、1 号罐道梁之间距离；OC'、OA'、OB'—井筒半径

根据梯子间、管线间布置，梯子间尺寸可按下列公式计算：

$$M = a_1 + a_2 + m + \frac{b_2}{2} \qquad (1-7)$$

式中　a_1——两梯子中心距，取 600mm；

a_2——梯子中心到壁板距离加另一梯子中心到井壁距离，取 600mm；

m——梯子间壁板总厚度，根据梯子间壁板结构确定，一般木梯子间 m = 50mm，金属梯子间 m = 77mm。

如图 1－11 所示，左侧布置梯子间，右侧布置管路，一般取 T = 300 ~ 400mm，S = 1600 － T = 1200 ~ 1300mm。

提升间和梯子间尺寸确定后，即可用解析法或图解法确定井筒的近似直径以及罐笼在井筒中的位置。

b）解析法求解井筒的近似直径和罐笼位置

由图 1－11 可列二次联立方程：

$$\left.\begin{aligned}(L_1 - K + M)^2 + S^2 &= R^2\\ (K + N)^2 + C^2 &= (R - 200)^2\end{aligned}\right\} \tag{1-8}$$

式中　R——井筒净直径；

$$N = \frac{a}{2} + (h - \Delta) + \frac{b1}{2} + \left(\frac{B}{2} - \Delta y\right);$$

$$C = \frac{A}{2} - \Delta x。$$

解此联立方程可求得 R、K 值。

c)图解法求解井筒的近似直径与罐笼位置

图解法步骤是：根据计算求得的井筒提升间和梯子间断面尺寸，用 1∶20 或者 1∶50 比例尺画出罐笼提升间和梯子间布置图；从靠近井壁的两个罐笼拐角沿角平分线方向，向外量距离 $200 - \Delta y$ 得 A'、B' 两点，再根据 M、S 求得 C' 点；作 $\Delta A'B'C'$ 的外接圆，可求得井筒中心 O，即可量出井筒近似半径 R（$R = OA'$），以及井筒中心线距一号罐道梁中心线距离 K。

用上述方法求得 R 和 K 后，按进级规定确定井筒直径。为施工方便，K 应取整数，并核算和修整罐笼与井壁的安全间隙 f_1 及 M 值。

(3)按通风要求校核井筒断面

按下式校核井筒风速是否满足矿井允许的风速：

$$V = \frac{Q}{S} \leqslant V_{允} \tag{1-9}$$

式中　Q——要求通过该巷道的风量；

S——巷道的净断面积；

$V_{允}$——允许的最大风速。

(4)编制井筒断面特征表(略)。

(5)绘制井筒断面施工图(如图 1－12)。

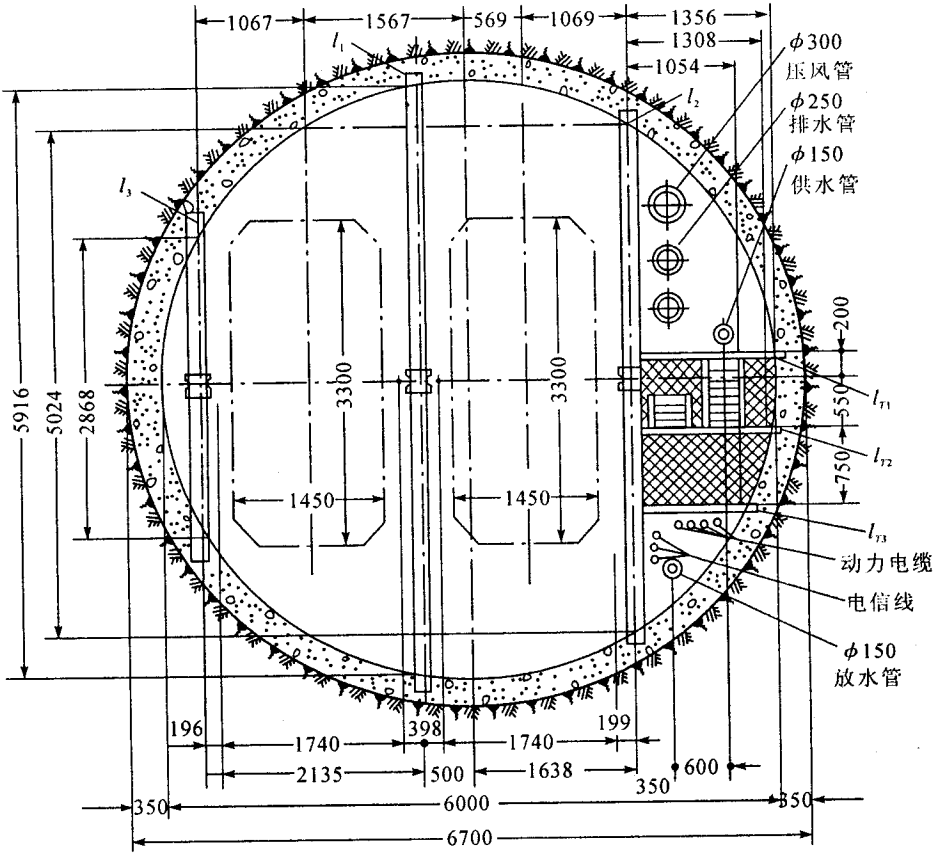


图 1－12　竖井井筒断面图

第三节　其他井巷断面设计

一、斜井断面形状及布置形式

（1）斜井断面形状

在围岩不过分破碎和淋水不大的情况下，除井口部分外，应优先考虑选用拱形断面喷射混凝土支护，必要时可配合使用锚杆。围岩坚固稳定且服务年限不长的小斜井可选用拱形断面而不进行支护。

（2）斜井断面布置

与平巷断面的布置原则相似,但设计斜井断面时需考虑出入斜井井筒的大型设备的轮廓尺寸,管路、电缆的铺设,通风的需要,施工与检修的方便等要求。

a)串车斜井

人行道宽度。斜井标准设计一般按 800mm 考虑;若人行道内需安设管路,则人行道宽度应加大一些。

非人行道宽度。非人行道宽度宜在 300mm 以上,斜井标准设计此值普遍大于 460mm。

人员上下斜井。当倾角小于 30°但垂深超过 90m,或当倾角大于 30°而垂深超过 50m 时,按规定须装有专用的斜井人车。此时提升设备宽度,应选矿车、人车中宽度大的尺寸作为设计依据。

有人车提升的斜井,在人员上下车处的断面宽度,决定于是采用单侧还是双侧上下车,并适当加宽人行道宽度,以不小于 1000mm 为宜。

b)箕斗斜井

箕斗斜井一般在大中型矿井中采用,多为双箕斗提升。

箕斗井内一般很少设置管线,除道床以外维修工作量较少。根据安全规程的规定,箕斗提升的井筒禁止进风,故箕斗斜井断面尺寸以箕斗的合理布置为依据。箕斗与支架及箕斗之间的间隙,与串车斜井的要求相同。经领导机关批准,装有完备的防尘和防止漏风设施的箕斗井作回风时,箕斗井的断面还要用允许通过的风量验算,与巷道、立井断面验算方法相同。

c)胶带斜井

我国矿山采用胶带运输机提升的大、中型斜井,一般需多铺设一条检修道,以利检修设备和运送材料。据现场调查认为:人行道布置在运输机和检修道之间(图 1-13)工作最为方便。图中:A 为在不设人行道一侧胶带运输机或矿车与斜井支架之间的宽度,由于水沟多设于此侧,故不应小于 400mm;B 为胶带运输机的最大宽度;C 为人行道宽度,安全规程规定不小于 800mm,条件许可时,可增大至 900mm;D 为矿车的最大宽度;E 为矿车至斜井支架或矿车胶带之间的宽度,为考虑运送最大设备及检修运输机的方便,此值应增大至 250~300mm。

二、天井与溜井设计

天井的作用是连接上下两个水平,用作下放矿石或废石,提升与下放设备、工具、材料,通风,行人以及探矿等。专门作放矿用的天井称为溜井。

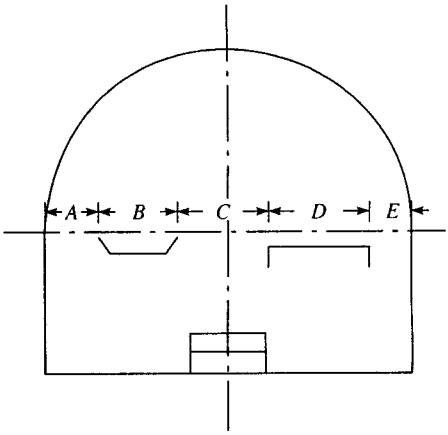


图 1－13　胶带斜井井筒布置方式

（1）天井设计

由于天井的用途不同，其断面形状也有所不同，通常以圆形和矩形居多。其断面与竖井一样，可分成若干个格间，常见的有梯子间、提升间、放矿间等。一个天井是否分格间，以及分多少格间，视其用途而定。各格间的结构、布置要求与竖井基本相同。一般矩形天井是以梯子间的长边作为放矿间的短边，并应大于所溜放矿石或废石最大块度的 3 倍，以免放矿时发生堵塞现象。提升间尺寸按通过最大设备与材料的尺寸确定。

（2）溜井设计

合理的溜井结构形式，对保证溜井正常生产，减少生产故障，增加溜井使用寿命，降低成本和减少维护费用等有着重要意义。确定溜井结构形式和结构参数应考虑的因素有地质地形条件，溜井所穿过岩石的物理力学性质，溜放矿石的物理力学性质和块度，溜井上、下口装卸矿方法，运输设备规格及溜井通过的总矿量，服务年限，以及溜井的检查、通风、排水、防尘等要求。合理的溜井结构形式应该符合运输距离最短、开挖工程量小、维护费用低、施工方便，并能保证矿山正常生产的要求。设计时常是选择几个方案进行详细的技术经济比较后确定。

溜井结构的主要参数有：

①溜井长度（深度）。溜井长度的选取主要取决于矿山的地质条件、矿床赋存条件、围岩的物理力学性质、矿山的开拓运输方式、矿石的性质及用途等。当溜井中不贮存矿石时，溜井越深，矿石对溜井壁的冲击磨损越严重，在这种情况下，溜井不宜太长。若溜井贮存矿石达井深的 2/3 左右，则可适当增加溜井的长度。国内垂直溜井深度一般为 60～250m；斜溜井长度一般为 100～250m。当溜井通过的岩层坚硬、稳固、整体性好，溜井

断面尺寸选择合理,溜井允许贮满矿石时,则溜井长度不受严格限制。

②溜井倾角。溜井倾角主要取决于矿床埋藏条件,开拓运输方式,矿石的块度、性质、湿度、粘结性、自然安息角、粉矿堆积角等。垂直溜井与斜溜井相比,优点是矿石对溜井冲击磨损均匀,断面利用率高,堵塞的可能性小,井筒稳固性好,故主溜井多采用垂直溜井。倾斜溜井的倾角应大于矿石自然安息角和粉矿堆积角,通常不小于 65°~75°。

③溜井断面形状及断面尺寸。垂直溜井的断面形状有圆形、方形及矩形等,一般多采用圆形。斜溜井的断面形状有拱形、矩形、方形、梯形及圆形,一般多采用拱形或矩形。溜井断面尺寸一般按所溜放矿石的最大块度来选取,同时考虑其粘结性和粉矿含量的多少。溜井断面的直径(或最小边长)一般取矿石最大块径的 5~8 倍为宜;对粘结性大、粉矿多且湿度大的矿石,溜井断面尺寸应适当加大。

④溜井上口卸矿硐室结构。溜井上口卸矿硐室结构主要根据运输设备类型、规格尺寸及卸矿方式等决定。

⑤溜井中间水平卸矿硐室结构。中间水平卸矿硐室与上口卸矿硐室基本相同,所不同的是增加了一段斜溜道。由于斜溜道一般不贮矿,且长度不大,所以斜溜道底板坡度应大于矿石自然安息角,通常为 60°以上;宽度应等于或小于溜井直径;高度应等于或大于矿石最大块径的 4~8 倍,且不小于 2m。

⑥溜井贮矿仓及溜口结构参数。为了矿山均衡生产和减少溜井堵塞,在溜井下部的适当高度扩大溜井断面,存放大量矿石,逐渐放出,此段称为贮矿仓。贮矿仓断面通常采用圆形或矩形。贮矿仓直径或矩形断面最小边长应等于或大于 4m;贮矿仓高度根据贮矿仓断面尺寸、溜口底板角度及粉矿堆积线来确定。溜口结构参数包括溜口宽度、溜口高度、粉矿堆积角、溜口底板倾角、溜口上部额墙厚度等。溜口结构参数主要取决于所溜放矿石的性质、块度及装载运转设备的规格、尺寸等。

三、马头门设计

井筒与井底车场巷道连接处称为马头门。马头门断面形状一般采用拱形。只有在稳固的Ⅰ、Ⅱ类围岩中,巷道宽度小于 5m 时,或顶板岩石已经破碎,不允许拆除临时支护和挖动顶板时,才采用平顶。

(1)马头门高度

马头门高度指井筒与车场巷道相交处的最高点至巷道轨面的铅直距离。主要取决于下放材料长度和下放方式(图 1-14),以最长材料能顺利进入井底车场巷道为准,可按式(1-10)计算。在主要提升中,车场巷道为拱形时,其高为 4.5m;在辅助提升中,根据

具体情况可降低到 3.5m。马头门为平顶时，一般不小于 3.5m。

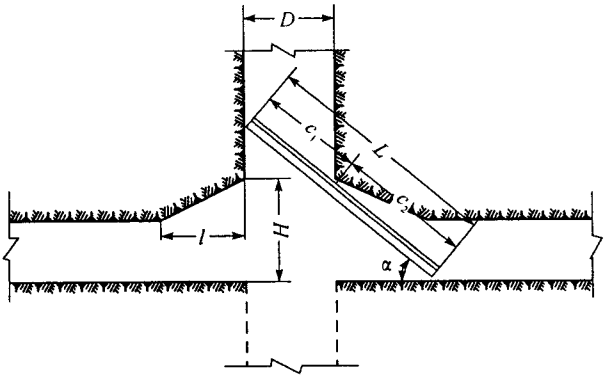


图 1－14　马头门高度计算图

$$H = L\sin\alpha - D\tan\alpha \tag{1-10}$$

式中　D——圆形井筒的直径，矩形井筒短边长度；

L——下放材料的最大长度；

H——马头门的有效高度；

α——下放材料的卸出角。

上式表明 H 随 α 而变化，求 H 的导数，并令其等于零得：

$$\frac{\mathrm{d}H}{\mathrm{d}\alpha} = L\cos\alpha - \frac{D}{\cos^2} = 0$$

把 $\alpha = \arccos\sqrt[3]{\dfrac{D}{L}}$ 代入式(1－10)可求出 H 的最大值，也就是下放长材料时井筒与车场连接部所需的马头门最小高度。若取 $\alpha = 45°$ 可得到 H 的近似公式 $H = 0.707L - D$。因为在圆形井筒中罐笼往往不是在井筒直径方向上，而是设在井筒断面内的某一弦上，其长度一般为 $0.7D$，因此对于圆形井筒，马头门高度的值应为：

$$H = 0.7(L - D) \tag{1-11}$$

(2)马头门长度

马头门长度通常是指井筒两侧对称道岔的基本轨起点之间的距离 L_0，见图 1－15。

L_0 的大小主要根据车场线路并考虑有无摇台、推车机设备，可用下式求得：

$$L_0 = a + b + b' + c + d + e + 2f \tag{1-12}$$

式中　a——罐笼长度；

b、b'——井筒两侧摇台的摇臂长度；

c——从摇台臂轴中心至单式阻车器轮挡面之间的距离，一般取 2～3m；

d——单式阻车器轮挡面与对称道岔连接的切线交点之间的距离，通常取 1～2 个矿车长度，以便使提升工作连续进行；

e——出车方向摇台摇臂轴中心至对称道岔连接的切线交点之间的距离，通常取 2.0～4.0m，目的是使矿车具有足够的初速度，以便克服对称道岔的阻力，顺利进入空车线存车段；

f——基本轨起点至对称道岔连接的切线交点之间的距离，其大小取决于对称道岔的型号。如不设摇台，则 b、b' 等于零，单式阻车器轮挡面至罐笼的距离，视有无推车机而定，一般取 2.5～3.5m。

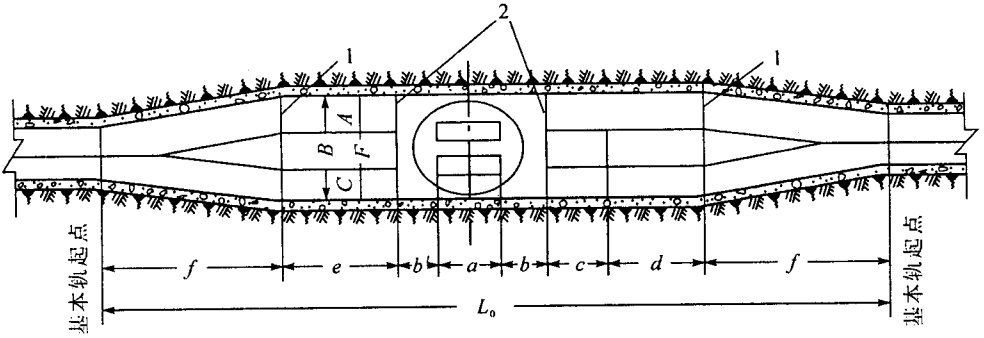


图 1－15　马头门平面尺寸计算图

1—对称道岔连接的切线交点；2—摇臂轴中心线

（3）马头门宽度

马头门宽度月可由下式求得（图 1－15）：

$$B = A + F + C \qquad (1-13)$$

式中　A——梯子间一侧轨道中心线至巷道壁距离，取 $A \geqslant$ 矿车宽之半 + 900mm；

F——轨道中心线间距；

C——非梯子间一侧轨道中心线至巷道壁距离，取 $C \geqslant$ 矿车宽之半 + 700mm。

上述马头门平面尺寸是指一般情况而言。如果马头门车场线路与机械设备不同，马头门平面尺寸也要相应变化。

第二章　井巷掘进

第一节　平巷掘进

一、破岩

(1)凿岩

在巷道施工特别是组织平巷快速掘进时,认真选取凿岩技术参数、改进凿岩工具设备、正确选定同时工作的凿岩机台数及其工作区域和顺序,不断提高操作技术水平等,对缩短凿岩时间、提高掘进速度有很大作用。

①凿岩机具

凿岩机具主要指凿岩机和掘进钻车。

a)凿岩机和钻车。凿岩机一般按其动力、工作时的支撑与推进方式、质量、频率,以及工作和配气机构形式进行分类。钻车一般以动力、行走方式、行走机构的驱动方式及车体结构加以分类。目前,我国矿山平巷掘进所用的凿岩设备特点及适应条件见表 2-1。

b)凿装联合机组。为提高掘进机械化水平,一机多用,减少或消除凿岩与装载设备在工作面的调换时间,国外研究了多种凿装联合机组,主要有如下几种:耙斗式凿装联合机组,在耙斗链板装载机上加设液压凿岩支臂;蟹爪式凿装联合机组,在蟹爪式装载机上加设液压凿岩支臂;带凿岩支臂的凿岩机组与装载机配合使用,即将凿岩机组沿悬挂式轨道送入工作面,并装在装载机上进行凿岩作业,凿岩完毕后,再将凿岩机组拆离装载

机，仍沿悬挂式轨道推出工作面。

表 2－1　凿岩设备

凿岩设备	孔径（mm）	孔深（mm）	特点与适用条件
气腿式凿岩机	36～43	＜2.5	应用普遍，设备轻，灵活，移动方便；作业条件较差，劳动强度较大
掘进钻车与导轨式凿岩机配套	36～50	＜3.0	机械化程度高，施工巷道的断面要满足钻车的技术要求
掘进钻车与液压凿岩机配套	40～50	＜5.0	机械化程度高，作业条件好，效率高，作业噪声低，施工巷道要满足钻车的技术要求

②凿岩工具

凿岩工具主要指钎头和钎钢。钎头形状、特点及其适用条件见表 2－2。钎钢多使用非镍铬的低合金钢，如 ZK55SiMnMo 和 ZK35SiMnMoV 等，具有强度高、抗疲劳性能好、耐腐蚀、价格低等优点，使用的平均寿命为 150～250m。

表 2－2　凿岩工具

钎头形状	特点	使用条件
一字形钎头	制造和修磨简单，对岩性和机型的适应能力较强	适用于冲击功小于 98J 的风动凿岩机钻凿 $f \leqslant 16$ 的坚硬、中硬及其以下的岩石，但在节理，裂隙发育和韧性较大的矿岩中容易卡钎，凿岩效果差
一字刃马蹄形钎头	对一字形钎头结构进行改进，使其耐磨程度、凿岩速度、固定质量及排粉性等均有较大提高	一般钻凿小直径炮孔，适用在坚硬以下、裂隙不发育的岩石中钻孔
十字形钎头	与一字形钎头比较，钻头耐磨性较好，钻孔较圆，钎头径向磨蚀较小，可承受较大冲击荷载，消耗硬质合金量多及钎头价格较高，钎刃不易修磨	较多用于中深孔凿岩，国外则大量用于浅孔凿岩，用于破碎、裂隙发育或软硬不均岩石中钻孔，可减少卡钎
X 形钎头	合金片不易松动，比十字形钎头的钻孔还要圆些	较多用于中深孔凿岩，国外则大量用于浅孔凿岩，用于破碎、裂隙发育或软硬不均岩石中钻孔，可减少卡钎
柱齿钎头	在硬岩中钻孔速度快，耐磨，硬质合金损耗少，钻孔质量好，钻孔时可承受很大冲击载荷	钻孔直径范围大，由小孔径到大孔径均可；钻孔中卡钎少，适用于中硬以上岩石钻孔
超前刃三翼状钎头	钻孔速度较快，炮孔定向质量较好	主要用于低压潜孔钻机上

③炮孔排列方法

a)爆破掏槽形式及其选择

炮孔排列的核心是选择掏槽孔的形式,它是决定爆破效果的关键。一般是根据巷道断面尺寸、岩石性质和岩层地质构造等因素选择掏槽形式,其分类及适用条件列于表 2-3。

表 2-3　掏槽形式及使用条件

掏槽形式		适用条件
倾斜掏槽	单向掏槽	用于工作面有软夹层或弱面部位,按巷道断面大小和夹层厚度不同,布置 1~2 排孔,倾角取 50°~70°
	锥形掏槽	炮孔深度受到限制,仅限于浅孔爆破,一般在 2m 以内,在工作面中部形成锥形,不宜在多机作业条件下应用
	楔形掏槽	有垂直楔形和水平楔形两种形式。水平楔形只在极为有利的岩层条件可利用时采用;垂直楔形适用面广,它由两排相对的炮孔组成,爆破后形成楔形,用于中硬以上的均质岩石,一般断面在 4m² 以上采用
垂直掏槽	桶形掏槽	用于中硬岩石,大、中,小断面均可使用。掏槽孔深度受巷道断面尺寸的限制小。掏槽孔由 4~-9 个炮孔组成,其中有 1~4 个空孔。采用较深炮孔爆破时,多用这种形式。此外在硬岩中用深炮孔(3m 以上)爆破时,也可采用带有大深孔超前的桶形掏槽方法
	龟裂掏槽	用于中硬以上岩石,孔数为 3~7 个,孔距取 8~15cm,空孔直径可与装药孔相同,也可以取 50~100mm 直径。它最适于工作面有较软的夹层或接触带相交的情况,将掏槽孔布置在较软或接触带附近的部位
	螺旋形掏槽	掏槽孔呈螺旋状,各装药炮孔至空孔的距离依次递增呈螺旋线布置,并按由近及远的起爆顺序起爆,形成非对称桶形。空孔可以是小直径,也可以是大直径,适于较均质的岩层
混合掏槽	桶形与锥形混合掏槽	先用桶形掏槽形成自由面,再用锥形掏槽扩大自由面。用于岩石极坚硬的大断面巷道掘进
	双楔形(复式楔形掏槽)	先用 4 个炮孔作第一组楔形掏槽孔形成自由面,再用第二组 4~6 个掏槽孔扩大自由面。用于岩石极坚硬的大、中断面巷道掘进(图 2-1)
	多重掏槽	用多组锥形掏槽孔,依次起爆不断扩大自由面(图 2-1)

b)辅助孔和周边孔的布置原则

应能满足以下要求:岩石按设计的轮廓线崩落;崩落的岩石不崩坏支架与设备;一个炮孔药包的起爆,不会引起相邻炮孔药包的殉爆或带出;岩石块度适中,有利装岩工作。

为此,要求这两类炮孔的布置一般要均匀,一方面充分利用炸药的能量,同时,也保证达到上述要求。其间距是根据岩石的爆破性能而定。辅助孔一般取 0.4~0.8m,周边孔为 0.5~1.0m,周边孔距巷道轮廓线取 0.1~0.2m。图 2-2 为掘进工作面炮孔布置

实例,供参考。

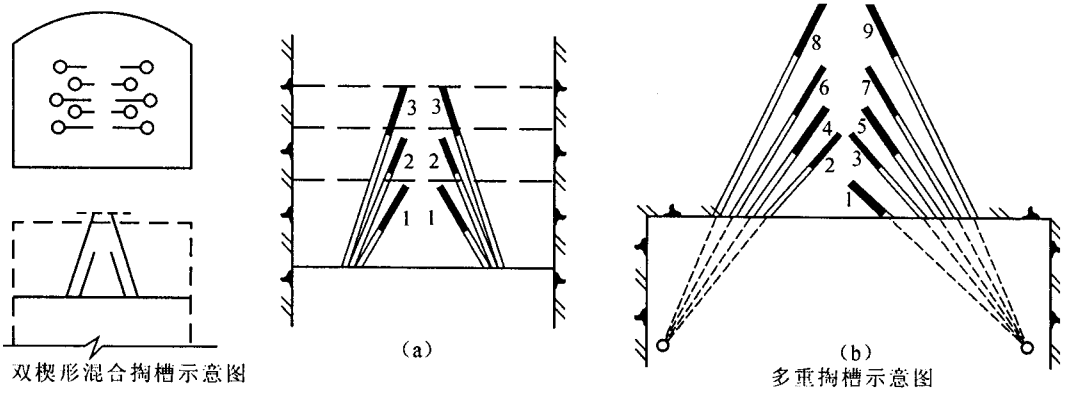


图 2－1　掏槽炮孔排列

(a)三重掏槽;(b)四重掏槽;1～9—炮孔起爆顺序

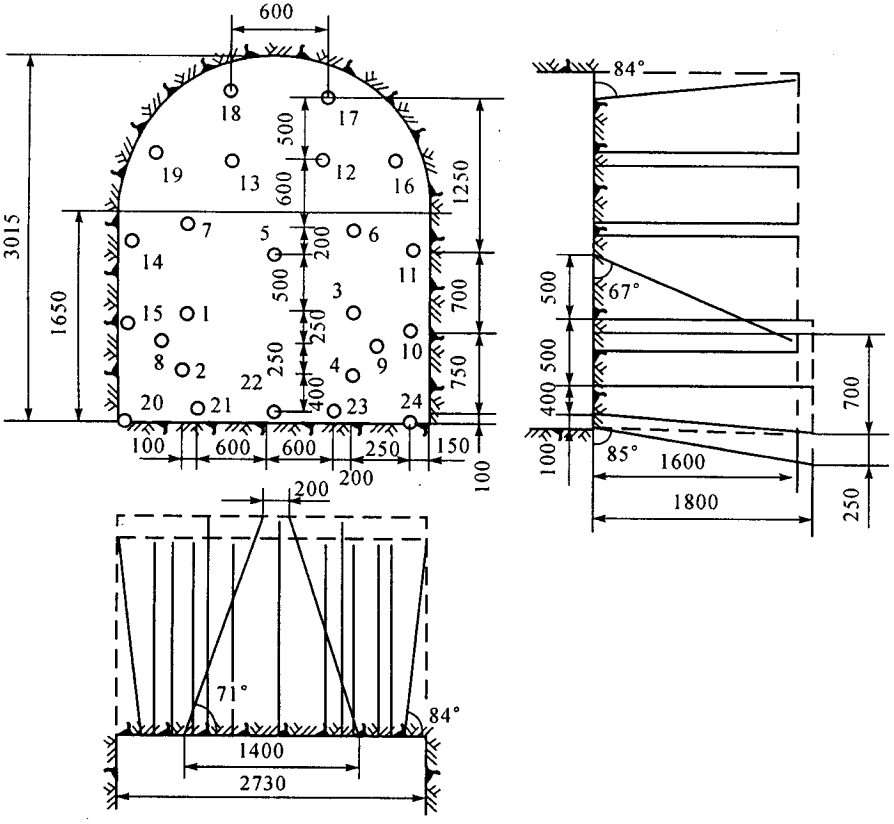


图 2－2　掘进工作面炮眼布置图

(2)爆破参数的确定

正确选取炮孔直径、深度、装药量、数目等爆破参数是获得良好爆破效果的基本保证。

①炮孔直径。一般情况下,采用气腿式凿岩机时,炮孔直径以 38～43mm 为宜;采用钻车配置液压凿岩机或导轨式外回转凿岩机时,炮孔直径可为 45～50mm。炮孔直径一般比药卷直径大 5mm 左右。

②炮孔深度。指工作面至炮孔底的垂直距离。合理的炮孔深度应根据掘进工艺、设备及巷道断面大小来确定。在条件允许并能保证爆破效率的情况下,应尽可能地增大孔深,以提高循环进尺。一般小断面巷道采用气腿式凿岩机时孔深为 1.5～2.5m,而断面在 $8m^2$ 以上的巷道采用钻车掘进时,可增至 3～4m。当要求严格按照循环图表作业时,孔深可以根据总循环图表和凿岩工序时间等条件,采用公式计算或试验确定。

③炸药消耗量的确定。与巷道断面、岩石性质、炮孔直径和深度等因素有关。炸药消耗量可根据经验公式计算或按国家颁发的《矿山井巷工程预算定额》选取。最好通过实测确定合理的爆破材料消耗定额。

(3)爆破工作

爆破作业的所有操作环节必须严格遵守《爆破安全规程》。

每次爆破作业图表制定后,要根据现场爆破炮眼利用率、巷道成形情况、爆堆和岩石块度等情况对爆破效果进行分析,进而对爆破作业图表进行调整,不断完善。

二、岩石的装载与转运

岩石的装运工作是最繁重最费时的工序,占掘进循环总时间的 35%～50%。应根据我国目前矿山岩石装运机械的发展情况,选择矿山常用的、配套适宜的装运机械所组成的装运作业线及典型设备。

(1)装岩作业

这类作业线由铲斗式装岩机或者耙斗装岩机与普通矿车和小型电机车组成。图 2-3 的作业线为双轨运输,分别为空车道和重车道,装载时装岩机和矿车经由调车道岔分别在两条轨道上装岩。调车道岔随着工作面的前进每隔 20～30m 移动一次。

①铲斗装岩机。铲斗后卸式装岩机是我国矿山使用最广泛的一种装岩机(图 2-4),按动力分为电力和压气两种,且都是轨轮式的。这种装岩机可供井下平巷和倾角在 8。以下的斜井掘进装岩之用。它适用于高度大于 2.2m 的巷道,最大装岩宽度为 2.2m。工作过程为:下放铲斗、机器前进,利用机器前进的冲力铲入岩堆,装满铲斗后机器后退,后

退同时提升铲斗，经图中 a、b、c 的位置将岩石卸入装岩机后面的矿车中。掘进巷道时，每放完一次炮，工作面总是要离开轨道端部一定距离，但往往又不够铺设一节标准整轨的长度，这时可配合使用短轨和爬道，把轨道延伸到工作面附近。临时短轨一般以 2m 一段较为合适，当数节短轨相当于一节标准轨长度时，即可拆除临时短轨，换成标准轨。短轨可循环使用，接长和拆除都很方便。爬道的结构见图 2－5 所示，它是用槽钢和扁钢焊接而成，4m 长较好。当装岩机装岩临近工作面时，可利用装岩机将爬道冲顶进岩堆中，然后开上爬道进行装岩。

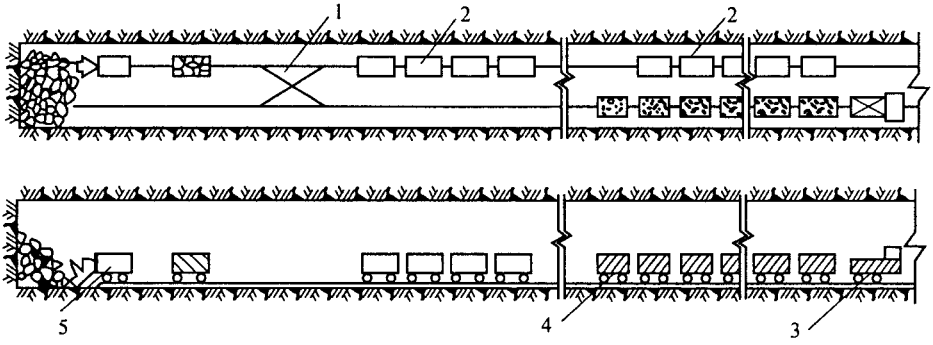


图 2－3　装岩机与矿车装运作业示意图

1—调车道岔；2—空车；3—电机车；4—重车；5—装岩机

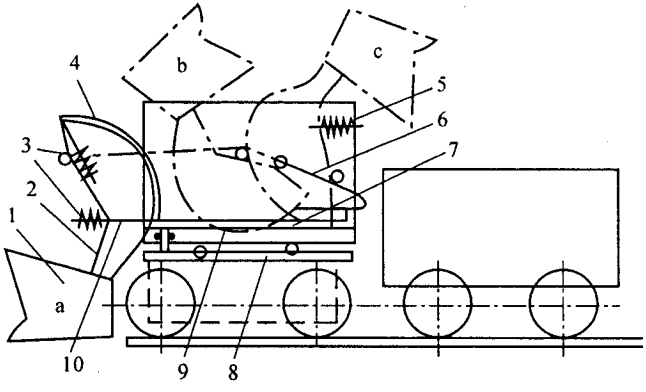
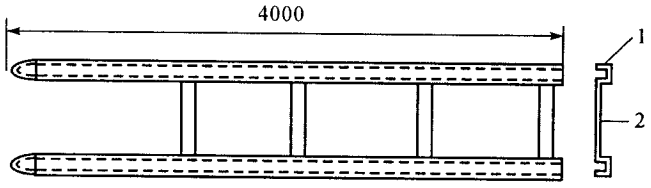


图 2－4　H－600 型装岩机构造示意图

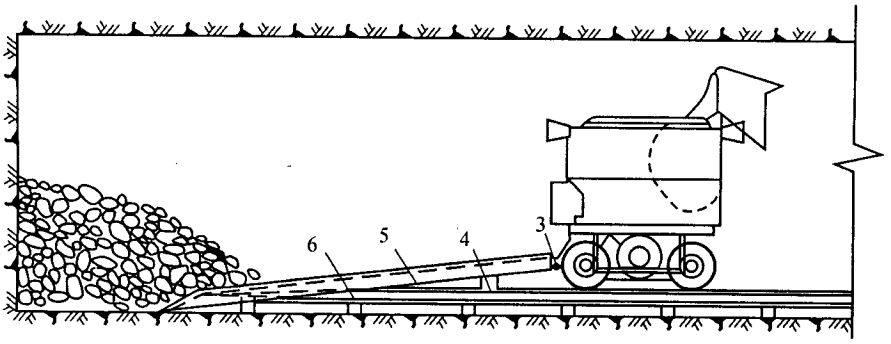
1—铲斗；2—斗柄；3—弹簧；4、10—稳绳；5—缓冲弹簧；

6—提升链条；7—导轨；8—回转底盘；9—回轨台

②耙斗装岩机。它是一种结构简单、制造容易、高效的装岩设备。这种装岩机适用于净高 2.2m、宽 2m 以上的水平巷道或小倾角的斜巷，也能用于弯道。耙斗装岩机是由绞车、耙斗、车体、卸料槽，以及主尾绳和滑轮等组成的组合机械。工作情况见图 2－6 所示。



(a)



(b)

图 2－5　爬道结构及使用情况示意图

1—槽钢;2—扁钢连接板;3—装岩机碰头;4—垫木;5—爬道;6—短轨

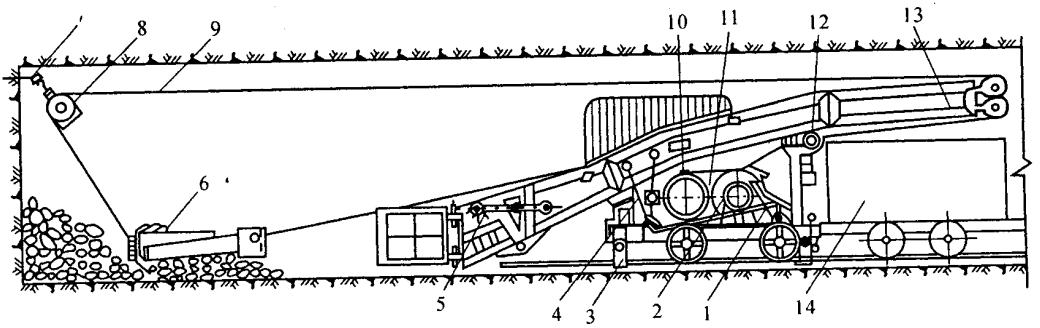


图 2－6　耙斗装岩机总装及耙矿作业示意图

1—连杆;2—主、副滚筒;3—卡轨器;4—操作手把;5—调整螺丝;6—耙斗;7—固定楔;
8—尾轮;9—耙斗钢丝绳;10—电动机;11—减速器;12—架绳轮;13—卸料槽;14—矿车

耙斗装岩机与铲斗后卸式装岩机比较,具有结构简单、维修量小、操作容易、安全可靠、岩尘量小、适用面广以及装岩生产率高等优点,但在硬岩中效率较低,在软岩中固定楔难固定。

(2)调车工作

装运作业中,调车工作是很频繁的,每当装满一个矿车便要推出重车换入空车。在调车过程中,装岩工作便暂时中断,装岩机的利用率会因此而降低。因此需要改进调车

方法,以提高装岩机的利用率。目前,巷道掘进中的调车方法和设备很多。最常用的调车方法是浮放道岔调车,双轨巷道用双向菱形浮放道岔。将浮放道岔安放在距工作面 10～25m 的原有轨道上,在工作面附近形成一个浮放的错车道,并能随工作面的推进而向前移动,能经常保持距工作面较短的调车距离。此外,装岩机可以交替在两条轨道上装岩,加大装岩宽度,提高装岩效率。单轨巷道宽度能并列两辆矿车时,可采用单轨上浮放双轨道岔的浮放错车道。

三、掘进通风

为使爆破后工作面的炮烟和粉尘能尽快排出,并提供足够的新鲜空气,以改善劳动条件,可采用局扇进行机械通风。

第二节　竖井掘进

竖井施工主要包括竖井掘进、永久支护、井筒装备三项工作。竖井掘进又包括表土掘进施工和基岩掘进施工。

表土掘进一般采用非爆破的方法进行,而当井筒穿过松软的含水表土或岩层,以及厚度较大的流沙层等用普通方法难以施工时,必须采用特殊方法进行施工。基岩掘进多采用以凿岩爆破为主的普通施工法。竖井永久支护一般采用石材、浇灌混凝土或喷锚支护。永久支护的施工与掘进施工同时进行。井筒装备的安装主要指罐道、罐梁、梯子间和各种管缆的安装,一般是在井筒掘进施工完成后进行,先自上而下安装罐梁,然后自下而上安装罐道,最后安装管缆。

竖井施工的特点是:工作面狭小,施工设备多,工作安全条件差,施工组织复杂。为了确保竖井高速度、高质量、低消耗并安全地施工,施工前必须全面了解井筒所穿过岩层的地质及水文情况,制定施工计划并采用有效的安全技术措施,实行严密的施工组织管理。

一、竖井表土掘进施工

工程实践中,常按稳定性把表土分为两大类:①稳定表土层,包括粘性土、无水的多孔性土以及无水或含水不多的卵石、砾石等;②不稳定的表土层,包括含水的砂土、淤泥,含饱和水的粘土以及浸水的多孔性土等。

(1)稳定表土施工

施工程序与选用的提升方式密切相关,但不管选用哪种提升方式,其基本程序都是先架设临时锁口,而后安装提升设备,掘砌表土部分(井筒超过40m要安设吊盘),掘砌至基岩时刷帮砌壁座。永久锁口一般都留在整个井筒掘砌完工后施工。

①安设临时锁口

用十字标桩法精确标定井筒中心后,必须先向下掘2~3m,以便安装临时锁口。临时锁口是由井颈上部临时井壁和锁口框架组成。它的作用是固定井位、封闭井口、安装井盖和吊挂掘进用支架,有时还兼作凿井井架基础。临时锁口的结构形式、构件材料和断面,应根据井口大小、形状、表土特征等因素确定,但必须确保井口稳定、封闭严密、井下作业安全。

常用的锁口形式和材料有以下两种:

a)临时钢结构锁口框。它用四根工字钢或重型钢轨平行铺设于井口,上面安放一道井圈,相互间用U形钢卡卡住(图2-7)。井圈的圆心与井筒中心相重合,用于吊挂临时井架。这种形式最简单,钢材可重复使用,承载能力强,使用普遍。

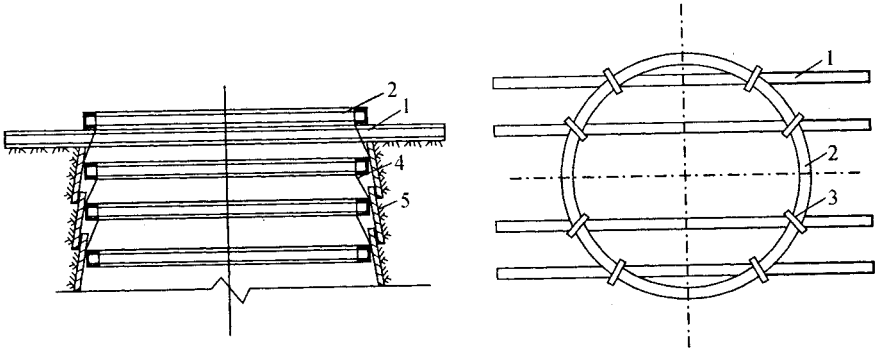


图2-7　钢结构临时锁口框

1—钢轨或工字钢;2—井圈;3—U形卡子;4—挂钩;5—背板

b)混凝土锁口。为简化施工程序,缩短建井工期,有时可以一次砌筑永久混凝土锁口。这种方式适用于比较稳定的表土层,它既有利于安全,又有利于保证井壁质量。锁口部分要设置井口永久设施的基础。

②提升方式的选择

在表土施工中,一般应采用标准凿井井架及有关设备构成提升系统。但有时因为表

土的抗压强度低，考虑到施工时可能出现地面沉陷，以及凿井井架等设备一时运不到现场，而又要争取时间进行准备，往往先采用简易提升方式，然后再改用标准凿井井架。常用的简易提升设备有汽车起重机或龙门架（图 2－8）。

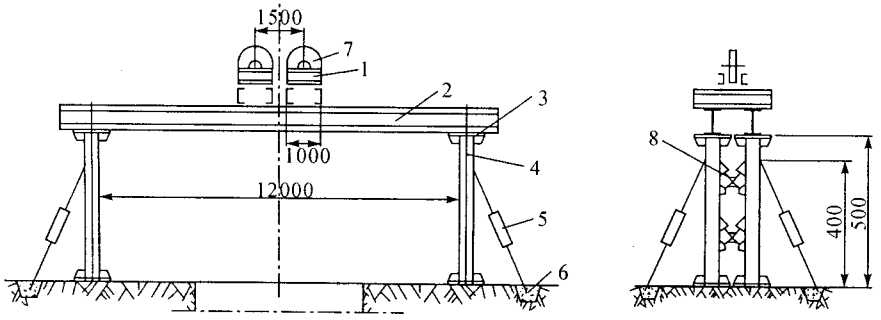


图 2－8　龙门架

1—槽钢；2—工字钢；3—连接钢板；4—ϕ150mm 钢管；
5—开式索具螺旋口；6—锚桩；7—ϕ0.6m 天轮；8—连接板

（2）表土掘进施工方法

①普通施工法。此方法适用于无水或涌水量不大于 $10m^3/h$ 的粘土层或砂质粘土层，以及无水的黄土层。在无水而稳定的土层中，井筒可全断面向下挖掘，并随即锚喷或架设井圈、背板。挖土可用人工或抓斗直接取土，土硬时可打浅眼、放小炮崩碎。在松软粘土层中，为了减少土层暴露时间，可以采用阶梯式环挖法或分块对称开挖法（图 2－9）。

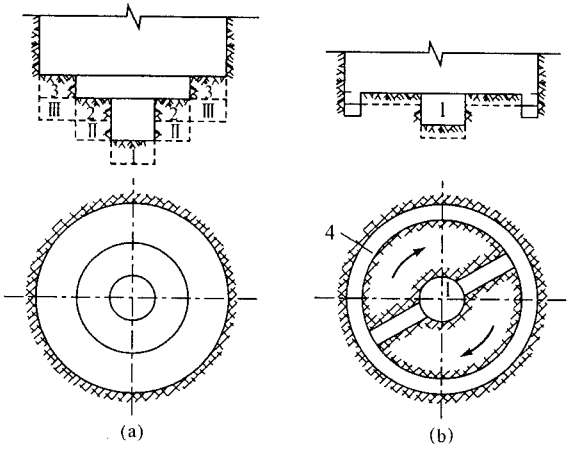


图 2－9　表土施工的挖土方式

（a）阶梯式环挖法；（b）分块对称开挖法
1—水窝；2、3、Ⅱ、Ⅲ—开挖顺序；4—环形集水沟槽

施工段高要结合土层性质、施工程序、提升方式和井颈结构等因素综合考虑。在不受水影响的稳定粘土层或大孔性土层中，段高可以加大至 20～40m。对于松软土层，应采用小段高掘进，不用临时支护。每掘进一段高后，随即砌筑井壁，段高一般为 1m 左右。

②吊挂井壁施工法。在浸水后稳定性变差或松软的土层中采用，特点是段高小，随掘随砌，井壁内设有竖向钢筋，各分段井壁的自重主要靠上部井壁通过吊挂钢筋来承担，可以避免井壁脱落或开裂事故。图 2－10 为吊挂井壁施工法示意图。

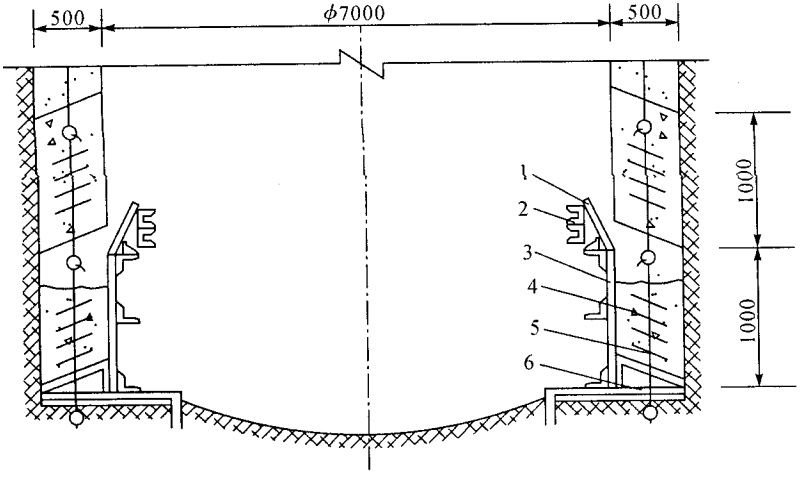


图 2－10　吊挂井壁施工法示意图

1—接茬板；2—井圈；3—金属模板；4—钢筋棒；5—吊挂钢筋；6—托盘

这种施工方法工序简单，施工安全，但消耗钢材较多，井壁接茬多，封水不够理想，由于混凝上养护所需时间比掘进时间长，故限制了施工速度。适用于通过稳定性较差的表土层和岩石破碎带，也可在流动性小、水压不大的砂层或透水性强的卵石层中使用。当土层中含有薄层流砂或淤泥等不稳定层时。可采用板桩法强行通过。

③板桩法。它是在土层开挖前，预先将板桩沿井筒周边外缘密集地打入土中，形成一个密封圆筒，在它的保护下进行掘进，是一种先临时支护、后掘进的施工方法（图 2－11）。

板桩常用木材制作，端脚削成刃锋，以便劈开土壤向深部插进。桩顶冠以铁帽，以免桩体因锤击而劈裂。桩身长度一般取 1.2～1.6m。当一段板桩不能完全穿过不稳定土层时，可再打入另一圈板桩，随打板桩随出土，直至通过不稳定地层。此法适用于土层中含有厚度不大子 2m，埋藏深度不超过 20m，且水头小于 2m 的流砂层或淤泥层等。

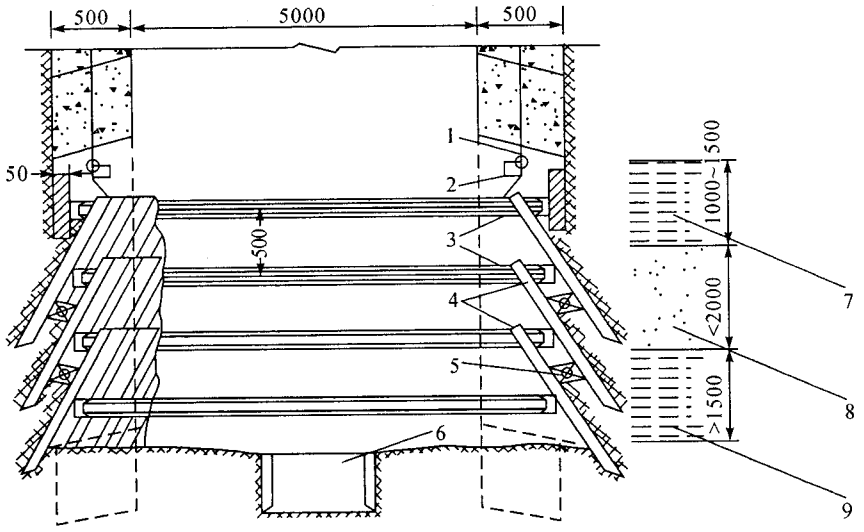


图 2－11　板桩法施工示意图

1—预留钢筋钩子；2—挂钩；3—导向圈；4—板桩；
5—垫木；6—超前小井；7—稳定表土；8—流砂；9—稳定表土

（3）不稳定表土施工

在遇到流砂、淤泥等不稳定土层时，必须采取特殊措施才能通过。例如先支护后掘进，如沉井法与帷幕法等，或采用预先改变土层性质的方法，如冻结法等，也可用机械化施工的方法，如钻井法等。这些施工方法一般称为特殊施工法。

①沉井法

沉井法是在井筒设计位置，把预先制好的一段 6～7m 长的整体井壁，靠自重局部沉入土中，然后在它的掩护下由人工边掘进边下沉，井壁随下沉而相应接高，这种沉井方法，通常称为普通沉井法（图 2－12）。由于沉井井壁与井帮摩擦阻力的影响，下沉深度受到限制，一般情况下只能下沉 20～30m。

为了减少侧面阻力和防止井内涌砂、冒泥，近年来发展起来的淹水沉井法最大下沉深度已达 192.75m。这种方法的实质是在沉井井壁与土层之间充以泥浆，用以减少井壁下沉的侧面阻力，井筒内灌满水，使井内外水压保持平衡，从而防止涌砂、冒泥以及地面塌陷。出土工作在水下进行，利用水枪破土，压气排砟。当井筒全部穿过冲积层，使沉井刃脚坐落在基岩之上，再封底，注浆稳固井筒，转入井筒基岩掘进。

沉井具有工艺简单、需用设备少、作业安全、井壁质量易于保证、成本低等优点，只是沉井容易偏斜，因此防偏纠偏是沉井过程中必须高度重视的问题。实践证明，采用淹水沉井法穿过冲积层在技术上是可行的，经济上是合理的，可以在不含有大粒径卵石、厚

100m 左右的冲积层凿井中推广使用。

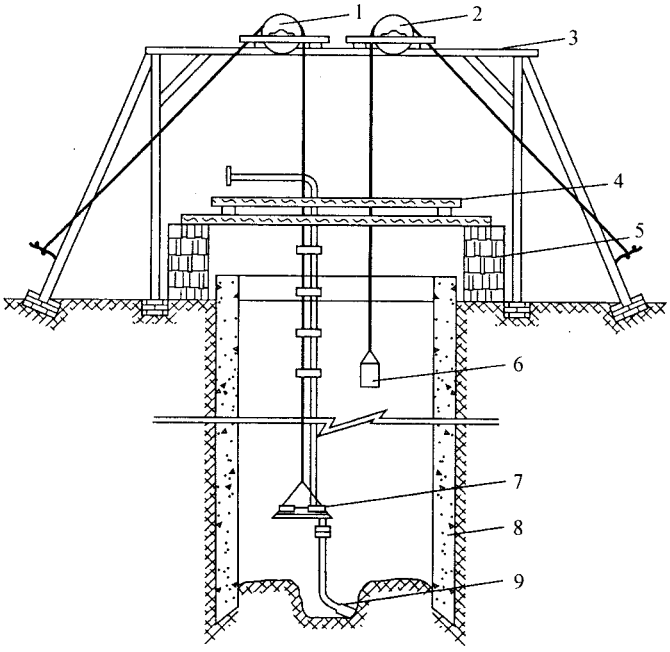


图 2－12　普通沉井法示意图

1—吊挂天轮；2—提升天轮；3—简易龙门架；4—井口工作盘；
5—木垛；6—提升吊桶；7—水泵；8—沉井；9—超前小井

②帷幕法

预先在设计井筒周围形成一封闭圆筒状，穿过含水不稳定地层并进入稳定基岩的混凝土帷幕，然后在其保护下安全地进行井筒掘砌作业。一般情况下，沿井筒圆周划分 2～3 段圆弧，依次在各圆弧段内向下钻孔，并连通形成槽孔，然后在槽孔内灌注混凝土，各段槽孔内混凝土互相嵌接起来，形成需要的混凝土帷幕。

帷幕法是我国独创的特殊施工方法。优点是能适应各种复杂地层，井筒进入基岩牢固可靠，施工准备期短，一般一个月即可开工，机具简单，不需大型施工设备，用电少，工程造价比冻结法、钻井法低得多。

③冻结法

冻结法凿井包括打孔、冻结、井筒掘砌三大内容。实质是在井筒掘进之前，先从地面在井筒掘进直径外的圆周上钻一圈冻结孔，然后在孔内安装冻结管进行冻结，使冻结孔周围逐渐形成冻土圆柱，各冻土圆柱逐渐扩大，互相交汇形成封闭的圆筒——冻结壁，以抵抗地压，隔绝地下水联系，然后在冻结壁的保护下进行掘砌工作（图 2－13）。待井筒通

过含水层达到预计深度后，便可回收冻结管，并充填空孔，让冻土自然解冻。

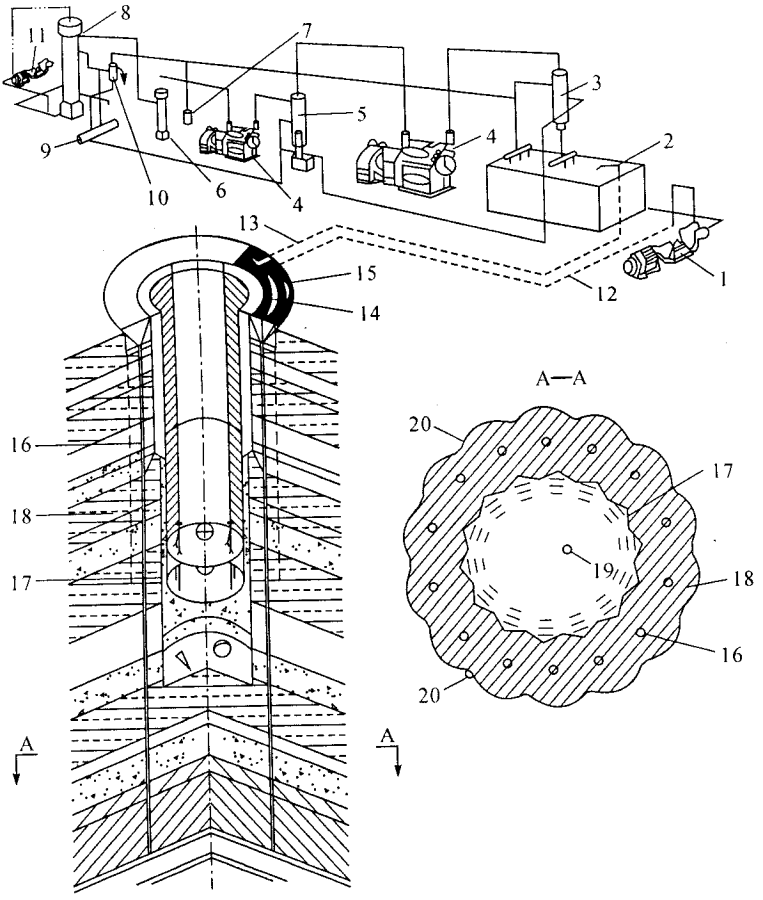


图 2－13　冻结法凿井示意图

1—盐水泵；2—蒸发器；3—氮液分离器；4—氮压缩机；5—中间冷却器；6—油氨分离器；7—集油器；8—冷凝器；9—贮氨器；10—空气分离器；11—冷却水泵；12—去路盐水干管；13—回路盐水干管；14—配液圈；15—集液圈；16—冻结器（内有供液管）；17—井壁；18—冻结壁；19—水文观察孔；20—测温孔

冻结法施工将井筒范围内冻实，所以冻结段井筒有时也需辅以钻眼爆破法掘进。由于冻结段井壁是在低温条件下施工，对混凝土井壁的强度和不透水性都有不良影响，常常出现井壁漏水甚至出现冒砂淹井事故。近年来，深井冻结多采用双层钢筋混凝土井壁，外层井壁厚度一般取 400mm，内层井壁厚度一般取 600mm，内层井壁是自下而上一次施工。为了保证内层井壁的质量，在两层井壁之间加以塑料隔热层。

冻结法凿井在理论上和施工技术上比较成熟，基本上不受深度限制，实践证明它是一种有效的特殊凿井方法。冻结法凿井的缺点主要是准备时间长，需用设备多，成本高

等,故在浅表土流砂层不宜采用冻结法,可由沉井、帷幕等方法取代。

④钻井法

钻井法是用钻头破碎岩石,用泥浆洗井排砟和护壁,待井筒钻至设计直径和深度以后,在泥浆中下沉预制井壁的机械化凿井方法。

钻进时,钻头的部分质量施加在刀具上,使刀具压入岩石,转盘通过方钻杆带动钻头旋转,从而破碎工作面的岩石。多数采用分次扩孔钻进,即首先用超前钻,一次钻至设计全深,而后分次扩孔。钻头破碎下来的岩砟,由泥浆冲至吸收口吸入,经钻杆、水龙头、排浆管送到地面沉淀池沉淀。泥浆是由泥浆池经过浆地槽流入井内,进行洗井护壁。泥浆循环的动力由空气吸泥机产生,钻好的孔壁也由泥浆进行维护。

在井筒钻至设计直径和深度后,一般是将预制好的井壁在井口随下沉随接长(图 2－14)。井壁沉到设计深度后,及时进行壁后充填。最后把井筒内的水排净,通过预埋的注浆管进行壁后和封底注浆,以提高壁后充填质量和防止破底掘进时发生涌水、冒砂等事故。

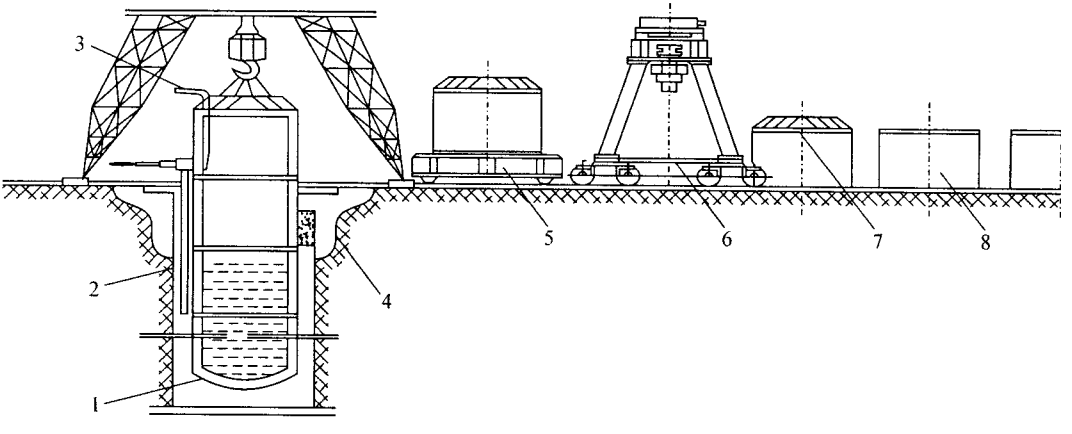


图 2－14　悬浮下沉井壁示意图

1—井壁:2—排浆管;3—注平衡水水管;4—导向木;
5—平车;6—龙门吊车;7—吊装联结器;8—预制的井壁

钻井法施工的地面化与机械化改变了传统的井下作业方式,工作安全可靠,施工质量好,从技术上讲钻井法可用于任何地层,它将成为我国主要凿井方法之一。目前,由于钻基岩的刀具没有完全过关,以及受材料设备不足的条件限制,在基岩掘进中还不能广泛采用。

二、基岩掘砌作业方式

(1)平行作业方式

砌壁和掘进在两个相邻井段内反向同时进行，即砌壁工作以稳绳盘所在高度为界，自下向上进行，与此司时，掘进工作则在稳绳盘以下 15～20m 处自上而下进行。施工段高一般为 30～60m（图 2－15）。因井内需为砌壁、掘进分别设置作业盘和独立的提升系统，增加了施工设备、人员和井内设备布置与施工管理的复杂性，加之上下同时作业，井下安全作业条件变差。此外，采用平行作业时，吊桶在通过砌壁吊盘和掘进吊盘对，需要两次减速，严重地影响提升速度，一般要降低提升能力 15%，又由于掘、砌分别单设提升系统，在有限的井筒断面内，必然会对掘进吊桶的容积有所限制。随着混凝土井壁的广泛使用，砌壁速度不断加快，平行作业方式在国内外已逐渐被混合作业或同向同步下行平行作业方式所代替。

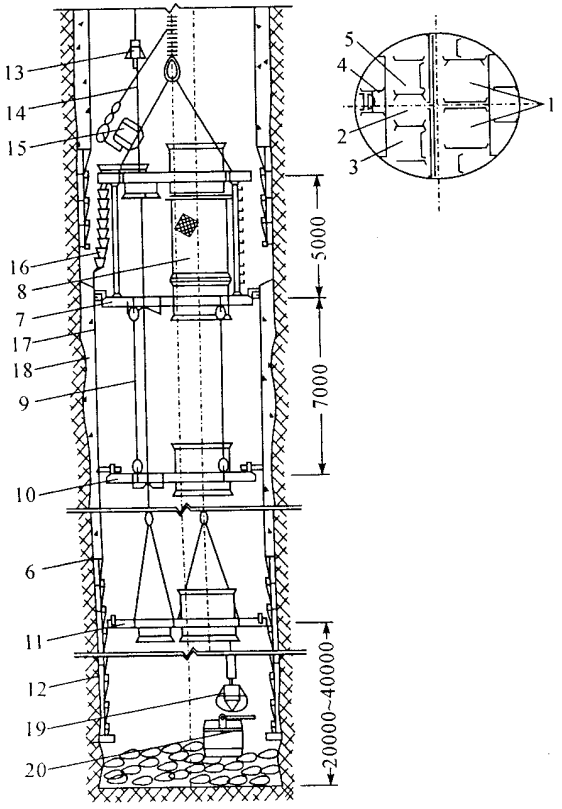


图 2－15　平行作业方式

1—2.0m³ 吊桶通过口；2—1.0m³ 吊桶通过口；3—φ800mm 风筒通过口；4—安全梯；5—吊泵通过口；6—生根钩；7—三层吊盘；8—金属网；9—下层盘吊挂钢丝绳；10—下层盘；11—稳绳盘；12—临时支护；13—滑架；14—翻罐绳；15—1.0m³ 吊桶；16—竹节管；17—金属模板；18—混凝土井壁；19—抓岩机；20—2.0m³ 吊桶

(2)同向同步下行平行作业

掘进工作在金属掩护筒或喷射混凝土临时井壁保护下进行。掘砌共用一个多层吊盘。砌壁工作在距掘进工作面 30～40m 的吊盘上随着掘进同向往下进行,段高一般为 2～4m(图 2－16)。砌壁和掘进共用一套提升系统,吊桶提升不需多次减速,加快了施工速度,是深井施工中较好的作业方式。

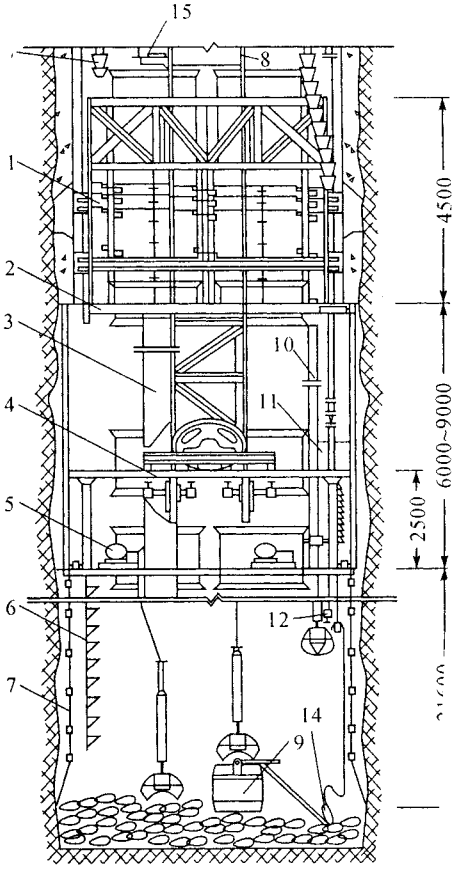


图 2－16　同向同步下行平行作业

1—门扉式模板;2—砌壁托盘;3—风筒;4—掩护支架盘;5—气动绞车;
6—安全梯;7—柔性掩护网;8—吊盘悬吊钢丝绳;9—2.0m³ 吊桶;10—压风管;
11—吊泵;12—分风器;13—混凝土输送管;14—压气泵;15—1.0m³ 材料吊桶

(3)混合作业

把掘、砌工作合在一起,组成一个新的掘砌循环系统,按照新的要求重新排列工序,把砌壁工作混合人装岩工作中间进行。这种作业方式,掘进与砌壁既有单行,也有平行,

工艺流程情况见图 2－17。

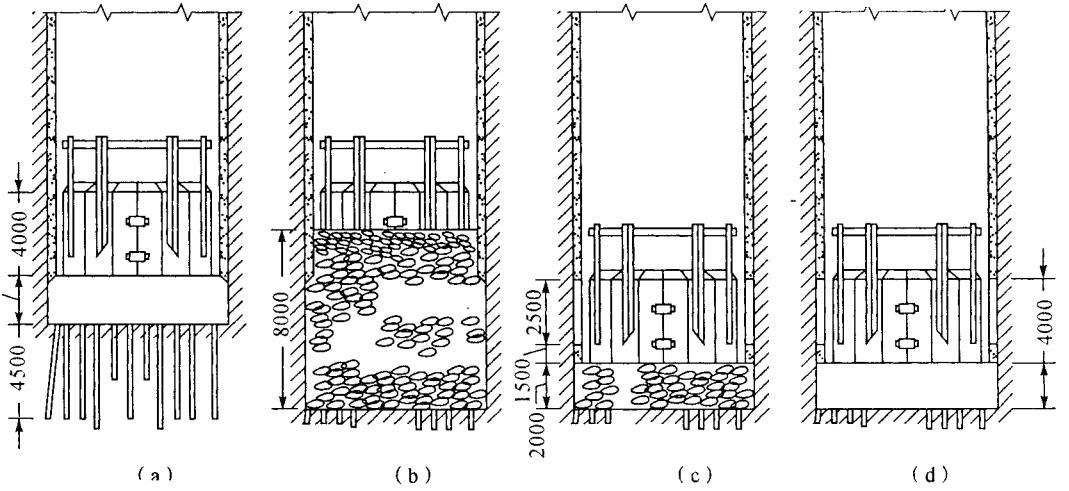


图 2－17　混合作业工艺流程示意图

图中(a)打眼装药;(b)放炮后矸石集堆情况;(c)部分出矸,当矸面降到规定的高度之后,下放模板、立模,浇灌混凝土;(d)测定混凝土强度后,出矸清底。混合作业的最大优点是永久支护一次到位,作业安全,井内设施简单,吊桶过盘次数少,提升能力大。缺点是井壁接茬多,防水性差,宜于在涌水量小或经过注浆后滴水量小的井筒中采用。

混合作业技术经济指标好的原因:一是省去了临时支护时间,提高了提升速度;二是省去了长段作业掘进和砌壁的转换时间。这种作业方式具有广泛的使用前景,是我国当前大力提倡的一种作业方式。

三、井筒施工方案

(1)掘砌安一次成井方案

井筒永久装备的安装工作与掘砌作业同时施工。此方案增加了井筒作业工序和施工复杂程度。优点是能利用永久罐梁固定施工管路,简化了井内吊挂,为利用永久井塔和永久提升机凿井提供了有利条件,它能有效地缩短整个井筒的施工期限。

今后随着井筒深度不断加大和施工装备逐渐重型化,利用永久提升系统凿井一次成井将受到重视。

(2)立井施工机械化配套方案

凿岩钻架、大型抓岩机、自动卸矸装置、滑动模板、激光指向仪等的相继使用和改进,使立井施工机械化得以组成比较完善的作业线。为了充分发挥配套设备的综合生产能

力,必须根据井筒特征和不同的水文地质条件,选择合理的立井机械化施工方案。

目前,我国已出现了多种机械化施工方案(图 2－18),现介绍几种如下:

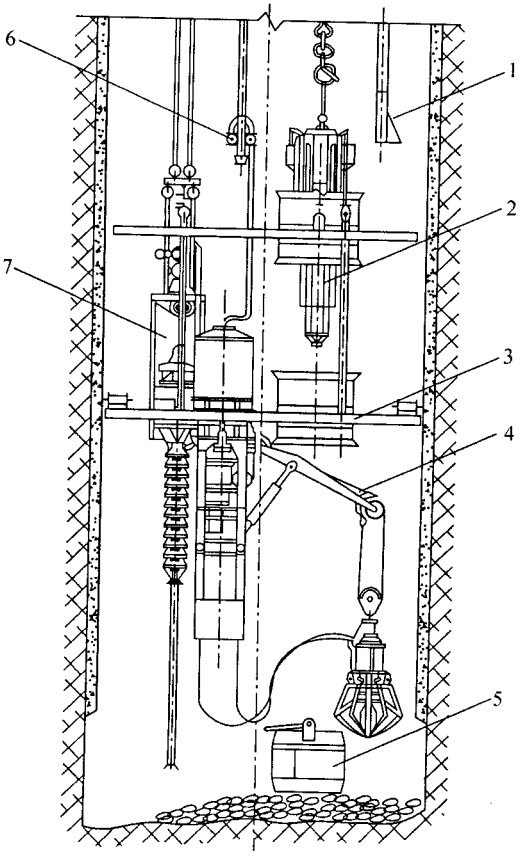


图 2－18　立井机械化配套施工方案之一

1—混凝土输送管;2—伞形钻架;3—吊盘;4—中心回转抓岩机;5—吊桶;6—压风管;7—吊泵

①井筒直径 5.5～6m,井深 300～400m,如采用掘喷混合作业时,可配用 FJD－6 型伞钻,HZ4 型抓岩机,两套单钩 2m³ 吊桶提升,一台 80DGL50 型吊泵(备用),两条混凝土输送管等。两套单钩提升灵活方便,当伞钻凿岩时,主提升提吊伞钻,副提升仍可正常运行,干扰少,是我国常用的机械化施工方案。

②井筒直径 6.5～7m,井深 500～600m 时,宜用斗容 0.6m³ 环形轨道抓岩机,配用 FJD－9 型伞钻,一套双钩和一套单钩提升,三条混凝土输送管等。在我国目前的技术和装备条件下,采用掘砌混合作业是一种机械化快速施工的主要方案。

③井筒直径大于 7m,井深超过 700m 时,可配用 2HH6 型抓岩机,FJD－9 型伞钻,3～4m³ 吊桶提升,新Ⅳ型或Ⅴ型井架和多层吊盘等。

为了适应发展混合作业方式的需要,要研制灵活的环形钻架和打深孔用的长行程气腿钻机,研究伞钻消音和掘砌混合作业使用伞钻的可能性。推广安全、高效、经济的长绳悬吊抓岩方式,并加以改进提高。要研制清底机械,缩短清底时间。深井施工中继续完善同向同步下行平行作业,研制灵活可靠的滑动模板。

第三节　井筒延深

一、井筒延深方案

竖井延深施工方案选择时应考虑以下因素:矿山原设计的要求和井筒条件,延深段的地质和水文地质情况,延深施工技术力量和施工设备,延深深度等。施工中应满足以下要求:尽量减少井筒内上部提升下部进行延深作业之间的互相干扰;尽量利用井筒周围的永久巷道和硐室进行延深,以减少临时工程的开凿量;采取安全技术措施确保工作面人员安全;加强延深井筒的测量工作。通常有以下几种方案:

(1)自上而下延深井筒方案

①利用生产提升设备延深井筒

停止井筒的生产提升,改为延深井筒的提升,自上而下延深井筒。优点是:准备工作简单、时间短、投资少,提升能力大,不需要开凿一系列辅助井巷和硐室,不需要构筑人工保护盘或留置保护岩柱,施工速度快。

②利用延深间或梯子间延深井筒

利用原有井筒的延深间或梯子间来安设井筒延深时的掘进提升系统,在不影响上段井筒生产提升的情况下,独立进行自上而下的延深工作(图 2 – 19)。

③利用辅助水平延深井筒

为延深井筒开挖一些井巷和硐室,形成一个与生产水平相通的延深辅助水平,从而解决井筒延深施工的凿井设备布置和形成延深井筒的通风、排水、压气、提升、运输系统,使井筒延深工作得以顺利进行(图 2 – 20)。首先从生产水平自上而下开凿盲斜井,掘至保护岩柱以下 17 ~ 19m;然后开凿延深辅助水平的巷道,并从延深辅助水乎反掘一段井筒,留出保护岩柱;再开凿延深绞车硐室和绳道,并下掘一段井筒;然后安设天轮台及卸矸台,安装凿井提升设备及各种管缆,即可开始延深井筒。

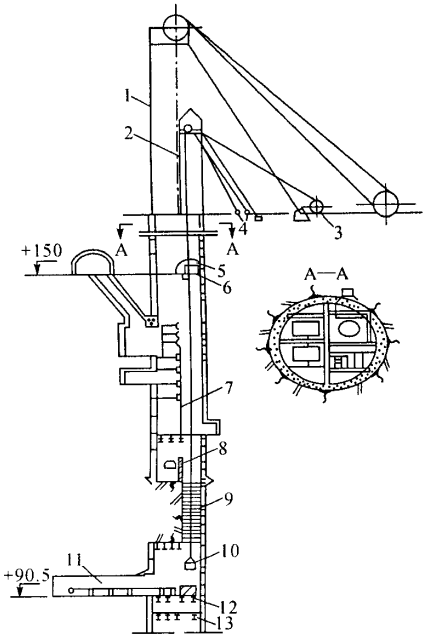


图 2－19　利用延深间或梯子间延深示意图

1—永久支架;2—掘进木支架;3—延深提升绞车;4—稳绳绞车;5—第一生产通道;6—安全门;7—隔板;8—隔墙;9—延深孔;10—吊桶;11—稳车硐室;12—封口盘;13—工作盘

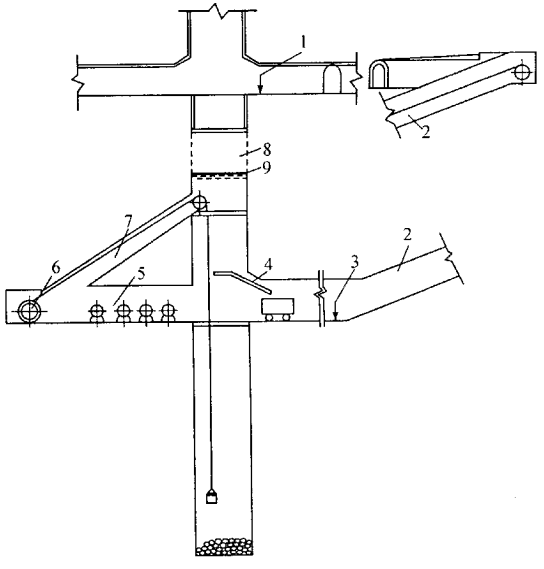


图 2－20　利用辅助水平延深井筒

1—生产水平;2—辅助盲斜井;3—延深辅助水平;4—卸矸台;5—稳车硐室;6—绞车硐室;7—绳道;8—保护岩柱;9—护顶盘

这种延深方法的优点是适应性强，对矿山正常生产影响很小，延深施工速度快，我国竖井延深多采用此种方法。

（2）自下而上延深井筒方案

在延深井筒附近已有井筒或巷道先行到达新水平的情况下，一般都应采用自下而上延深井筒。这种延深方式通常是先自下而上掘进小断面天井，然后再刷大到井筒设计断面。

①先上掘小井，然后上行刷大的延深方法

如图 2－21 所示，先掘联络道，到达延深井筒的位置后上掘小井，待上下水平贯通后，再自下而上刷大小井至井筒设计断面尺寸。刷大的方法与浅眼留矿法基本相似。待整个井筒刷大到上一水平后，放出全部矸石，在吊盘上砌筑永久井壁，进行井筒设备安装。最后清除保护岩柱，完成此段井筒的安装工作。这种方法多在井筒围岩比较稳定的情况下采用。

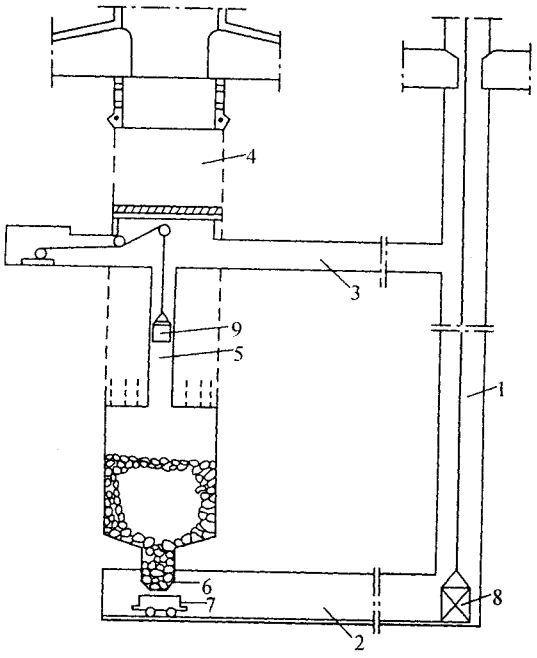


图 2－21　先掘小反井然后上行刷大井筒示意图

1—盲井（辅助井）；2—延深阶段联络道；3—辅助阶段联络巷道；
4—保护岩柱；5—天井；6—漏斗；7—矿车；8—罐笼；9—吊桶

②先掘小井，然后下行刷大的延深方法

如图 2－22 所示，在岩性较差的情况下，从下向上掘通小井后，由上向下刷大井筒，

爆破的岩砟经小井溜至新水平,装车运走,然后进行临时支护。为保证安全,在延深辅助水平应搭设井盖门,在小井上口设置格筛,放炮时提起,岩砟通过后再盖上。刷大井帮和砌壁工作一般分段交替进行,施工安全性较好。

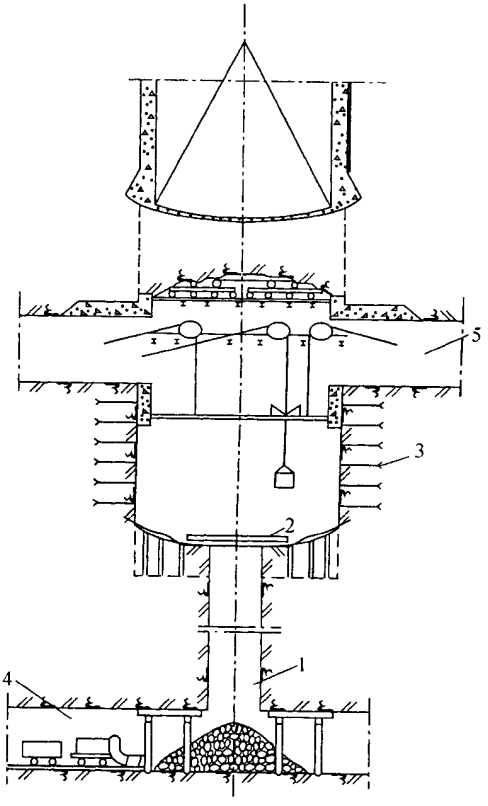


图 2－22　先掘小反井然后下行刷大井筒示意图

1—反井;2—安全格筛;3—钢丝绳砂浆锚杆;4—新水平;5—延深水平

二、保护岩柱和人工保护盘

无论哪种延深施工方案,在生产段与延深段之间都必须设保护装置,或预留保护岩柱(8～10m 高),或构筑人工保护盘(4～8m 高),以防止万一提升容器或其他物件坠落时,保证下段延深工作人员的安全。利用延深间或梯子间自上向下延深井筒时,岩柱或保护盘仅占与生产提升设备相对应的那一部分井筒断面;采用其他延深方案时,则占有井筒全断面。

预留保护岩柱方法简单,可节省材料,但必须在岩石坚固、致密、不透水、遇水不膨胀的条件下才能采用。在岩柱下方应设护顶盘,防止岩石松动冒落。

第四节　天井与溜井掘进

一、普通法掘进天井

每掘进循环架设一次凿岩工作台，并随掘进工作面向上推进，每隔 6～8m，移动一次安全棚，与此同时安设梯子间和放岩间等（图 2－23）。此法作业条件差，劳动强度大，而且掘进速度慢，工效低，特别是掘进高天井时更为严重。但是它可以跟随矿脉掘进，有利

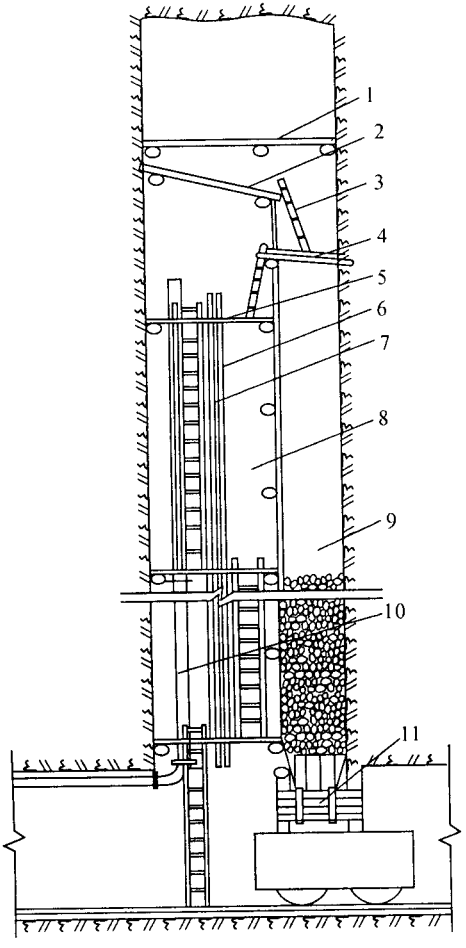


图 2－23　普通法掘进天井

1—工作台；2—安全棚；3—短梯子；4—临时平台；5—工具台；6—水管；7—风管；8—梯子间；9—岩石间；10—风筒；11—漏斗口

于探矿。为了提高普通法掘进速度与工效,在解决架设工作台耗时费工方面,一些矿山采用铁链环悬吊工作台和双吊环挂钩架设工作台,见图 2－24。

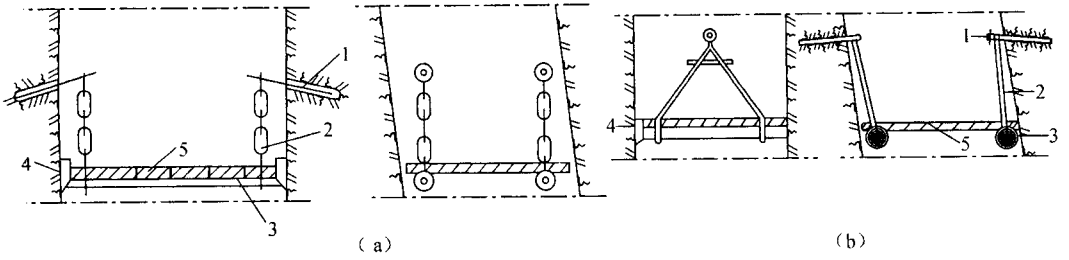


图 2－24　简易工作台安装示意图

(a)采用铁链环悬吊工作台;(b)采用双吊环挂钩安装工作台

1—托钩;2—铁链环;3—铁管支承梁;4—楔子;5—木板

二、吊罐法掘进天井

以吊罐代替普通法的凿岩工作台,同时作为升降人员、设备和材料工具的提升容器(图 2－25)。它不仅减轻工人劳动强度,而且掘进速度快,工效高。吊罐法掘进天井使用的专用设备有:吊罐、提升绞车及信号联络装置。

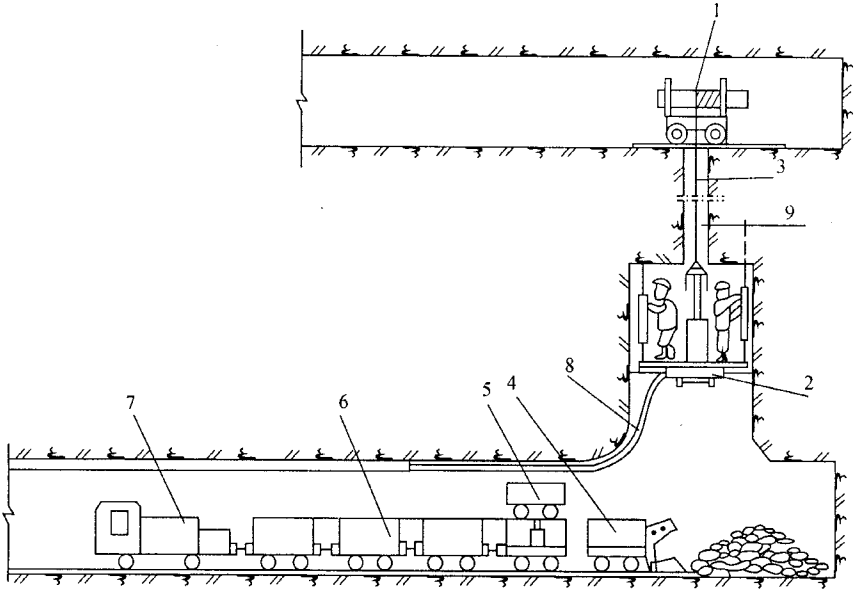


图 2－25　吊罐法掘进天井

1—游动绞车;2—吊罐;3—提升钢丝绳;4—装岩机;

5—斗式转载车;6—矿车;7—电机车;8—风水管电缆;9—中心孔

使用的提升绞车有两种类型:游动式绞车和固定式绞车。游动绞车是与华－Ⅰ型和华－Ⅱ型吊罐配套的专用提升设备。特点是:在升降吊罐时,它借助于钢绳缠绕卷筒时产生的横向推力使绞车在轨道上自行来往游动,使钢绳自动对准中心孔,减少了钢绳与孔壁摩擦,避免了吊罐在提放过程中因钢绳乱叠而产生的缎罐现象,从而可延长钢绳的寿命和使吊罐提放平稳。但由于提升能力及容绳量小,只适用于掘进高度小于 60m 的天井。固定式绞车一般采用通用的慢速电动绞车,它能与重型吊罐配套使用,适用于掘进高度大于 60m 的天井。

三、爬罐法掘进天井

利用主爬罐本身的驱动装置,使其沿天井顶板敷设的轨道升降(图 2－26)。主爬罐升至工作面后,工作人员在主爬罐上进行凿岩爆破作业,同时利用辅助爬罐可使天井工作面与井下取得联系,以缩短掘进过程中的辅助作业时间。放炮时将主爬罐开往躲避硐室中,爆下的岩砟用装岩机装走,装岩和凿岩可依次或平行进行。

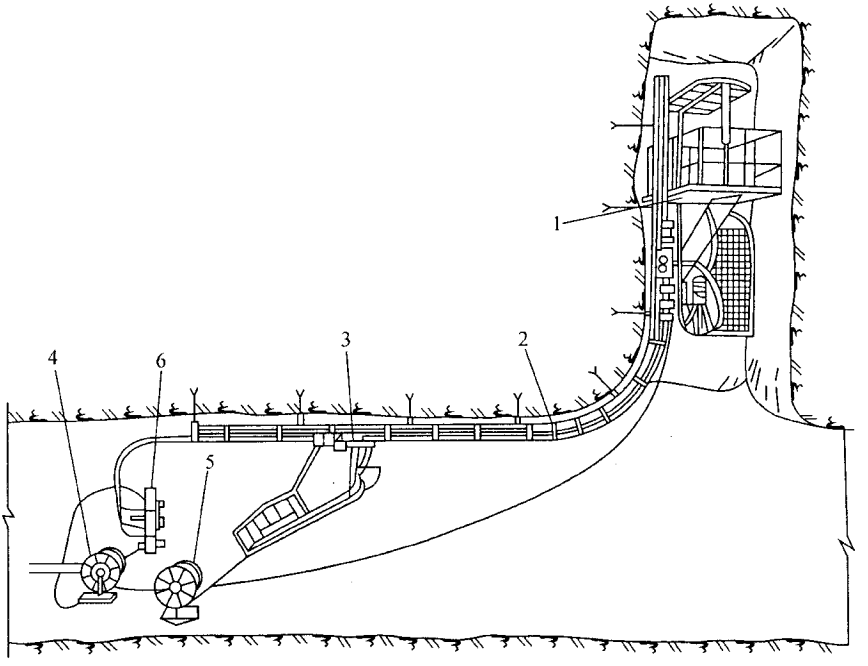


图 2－26　爬罐法掘进天井示意图

1—主爬罐;2—导轨;3—副爬罐;4—土爬罐软管绞车;
5—副爬罐软管绞车;6—压气,水分配器

四、深孔爆破法掘进天井

采用深孔钻机在天井断面范围内，沿天井全高自上向下或自下向上一次钻完全部平行炮孔，然后分段或一次爆破成井（图 2－27）。掘进过程中，工人不进入天井内作业，因此，它具有工作安全、作业条件好、劳动强度低等优点，是我国近期掘进天井行之有效的方法之一。

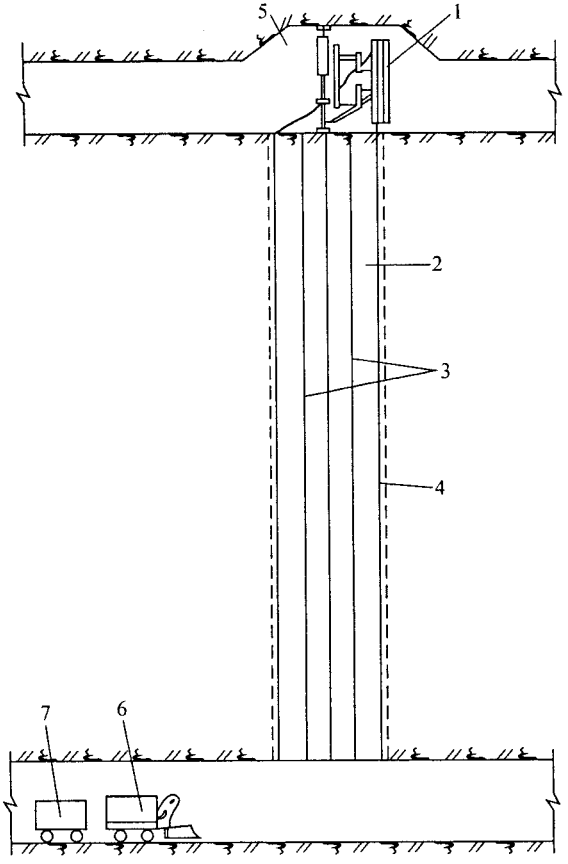


图 2－27　深孔分段爆破法掘进天井示意图

1—深孔钻机；2—计划掘进的天井；3—掏槽孔；4—周边孔；5—钻机硐室；6—装岩机；7—矿车

五、钻进法掘进天井

钻进法是用天井钻机和扩孔刀头刀具钻进天井连续作业的天井掘进法，施工全部机械化。目前国外天井钻机的钻井深度已近 1000m，扩孔直径超过 6m。国内的钻井深度

为 120m,扩孔直径为 2m。

(1)天井钻机的钻进方式

上扩法:用牙轮钻头向下钻一条导向孔,换上扩孔刀头,再自下而上地扩孔。

下扩法:用牙轮钻头向上钻一条导向孔,换上扩孔刀头,再自上而下地扩孔。

全断面上向钻进法:用盲井钻机全断面上向钻掘天井(图 2-28)。

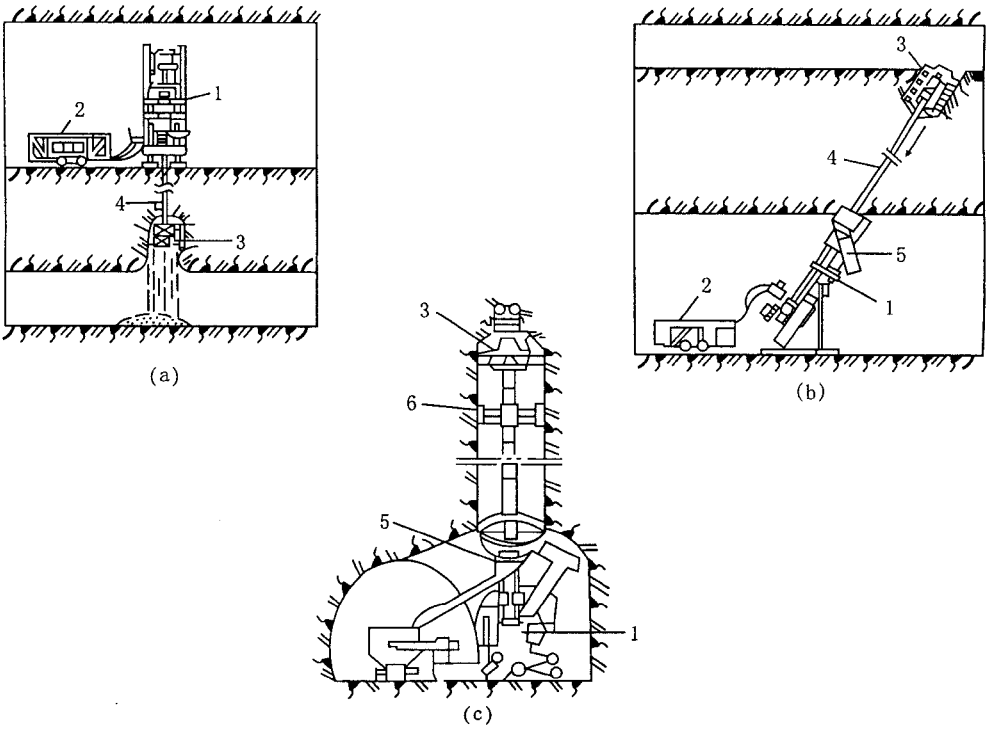


图 2-28　天井钻进法的钻进方式

(a)上扩法;(b)下扩法;(c)全断面上向钻进法

1—天井钻机;2—动力组件;3—扩孔钻头;4—导向孔;5—漏斗;6—稳定器

(2)几种天井钻进法的主要优缺点

上扩法掘进速度快,劳动生产率高,作业安全,劳动强度低,劳动条件好,而且有利于设备的保养和维修,不需增设溜放岩砟的附加装置,开孔容易,出砟方便,易于防止偏斜,保证钻进质量。下扩法所扩下的岩砟,由导孔排出,势必经受重复研磨,不但影响扩孔速度,而且影响刀具寿命,同时,人员在下阶段操作,岩砟向下坠落,因此劳动条件差。全断面上向钻进法除用于盲井钻进外,潜入式盲井钻机亦可钻进一般天井,其优点是在钻进中可改变钻进方向。

第五节　硐室掘进

各种硐室的形状、规格和结构差别很大,岩石性质也不相同,采用的施工方法较多。这些施工方法归纳为三类:全断面施工法、导硐施工法、留矸施工法。

一、全断面施工法

全断面施工法指在整个断面上向前推进的施工方法。这种方法比较简单,作业集中,便于管理,通风条件好,轨道管线可一次铺成,对提高施工机械化程度和工效有利。适用于围岩稳定、节理不发育、不需临时支护、高度不大的硐室掘进施工。全断面施工法有以下两种形式。

(1)全断面一次掘进法

这种方法与普通巷道的掘进方法基本相同。由于断面比较大,可适当加大眼深,采用深孔爆破。使用小型风动凿岩设备钻上部炮眼时,可采用登矸作业,装药联线用梯子。这种方法只宜在高度小于 5m 的硐室中使用。

(2)台阶工作面法

当硐室的高度较大,为便于操作,可将硐室分成两个分层,施工时形成台阶状。上分层超前施工,称正台阶工作面施工法(图 2-29)。下分层超前施工时称倒台阶施工法(图 2-30)。正台阶工作面施工法的分层高度不超过 1.8~2.5m,上分层台阶工作面一般超前 3~5m。台阶不宜超前过多,以免增加上部台阶扒矸工作量;下部台阶的炮眼布置可以是水平眼,也可以是垂直眼。

二、导硐施工法

借助辅助巷道开挖大断面硐室的方法称为导硐法。这种方法多用于松软破碎地段。围岩稳定,但断面特大(50m^2 以上)也可采用。导硐是临时性辅助巷道,断面 4~8m^2 不等,用于施工期的通风、行人和运输。根据导硐位置的不同分中央下导硐施工法、两侧导硐施工法和上下导硐施工法等。

(1)中央下导硐施工法

导硐一般布置在硐室中央的下部。导硐掘到位置后再进行扩帮、挑顶并完成永久支

护。扩帮、挑顶的施工顺序，可以先挑顶后扩帮，如图 2－31 所示，也可以先扩帮后挑顶，如图 2－32 所示。前一种顺序多用于锚喷支护，后一种适用于混凝土砌碹支护。

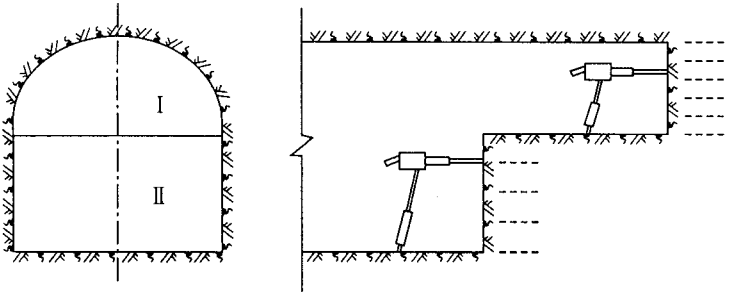


图 2－29　正台阶工作面施工示意图

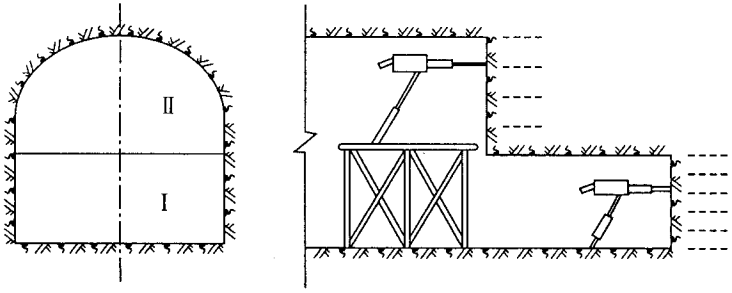


图 2－30　倒台阶工作面施工示意图

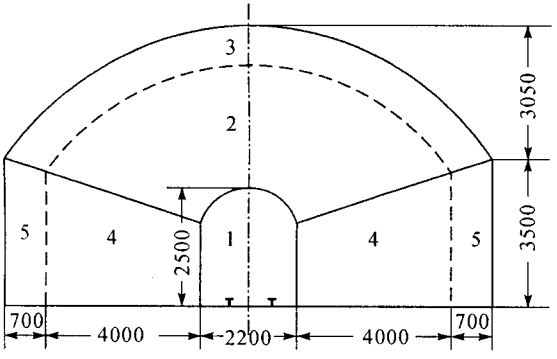


图 2－31　下导硐先拱后墙开挖顺序图

1—下导硐；2—挑顶；3—拱部光面层；4—扩帮；5—墙部光面层

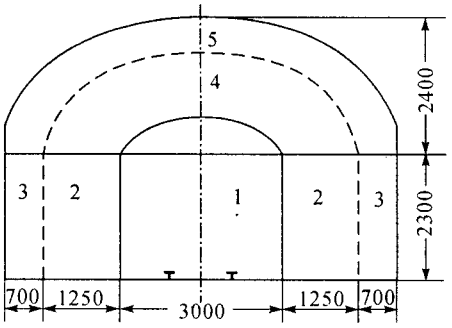


图 2－32　下导硐先墙后拱开挖顺序图

1—下导硐;2—扩帮;3—墙面光面层;4—挑顶;5—拱部光面层

(2)两侧导硐施工法

当硐室跨度较大、围岩较松软不稳定时,一般选用两侧导硐施工法。导硐布置在硐室两侧,紧靠硐室的侧墙。导硐的断面尺寸一般为宽 1.5～1.8m,高 2m。施工顺序为随掘导硐随砌墙(图 2－33),并逐步向上扩大。导硐扩大时落下的砟石可作工作台之用,再把墙接上去。当墙全部砌完后由两侧开始挑顶、砌拱,最后将拱部掘砌完毕后,再挖去中间岩柱。

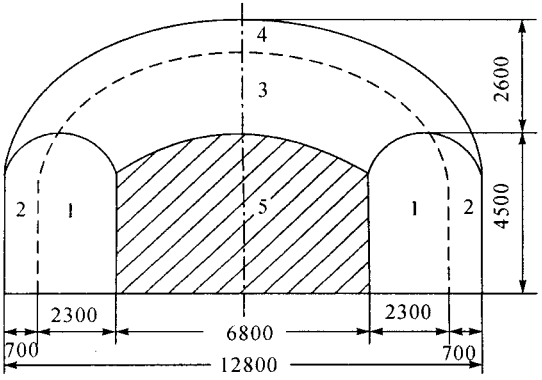


图 2－33　两侧下导硐开挖顺序图

1—两侧下导硐;2—墙部光面层;3—桃顶;4—拱部光面层;5—中心岩柱

三、留砟施工法

这种施工方法与浅孔留矿法相似。施工顺序是自下而上分层进行,图 2－34 为某矿粗碎硐室施工示意图。先掘出下部储砟仓、井筒与硐室的联络巷道以及储砟仓以下砟石

运输系统,以解决施工过程中的行人、运输、通风等问题。然后由联络巷道进入硐室并沿硐室整个断面拉出底槽,用上向凿岩机钻凿上向炮眼,分层爆破。每爆破一次,要从下部漏斗放出一部分矸石,使硐室内的矸石面与顶板保持 1.8～2.0m 的空间,以便继续凿岩、爆破作业,直到掘至主硐顶板为止。最后自上而下进行支护,边支护边放出硐室中的矸石。这种方法要求岩层中等以上稳定,整体性好。

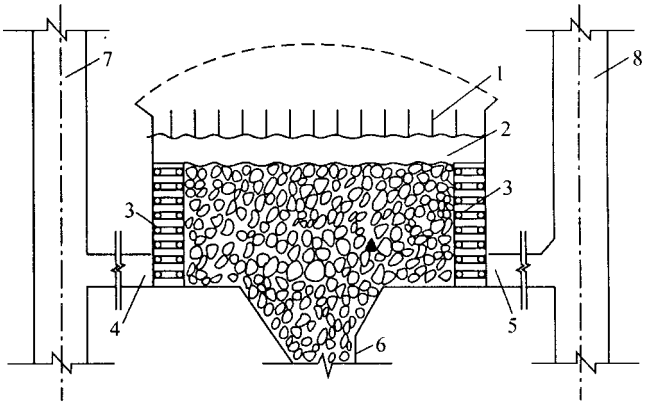


图 2－34　某矿破碎硐室采用留矿法施工示意图

1—上向炮眼;2—作业空间;3—顺路天井;4—主井联络道;
5—副井联络道;6—下部储矸仓;7—主井;8—副井

第三章　井巷支护

为了保持巷道的稳定性,防止围岩发生垮落或过大变形,巷道掘进后一般都要进行支护。在巷道施工中,支护工作量占有很大的比重,它的工作进度直接影响着成巷速度。

长期以来,人们把架设各种形式的支架作为维护巷道的主要手段。我国矿山巷道支护曾先后采用过不同结构形式的木材支架、金属支架、预制钢筋混凝土支架,以及料石砌碹、整体浇灌混凝土等。

十多年来,锚喷支护的推广使用是巷道支护技术的重大进步。锚喷支护的施工工艺和支护原理与传统的被动支护迥然不同,具有明显的优越性,施工工艺简单,机械化程度高,施工速度快,减少井巷掘进和支护的工程量,节约大量木材和钢材,质量可靠,施工安全,适用范围广泛。但也存在降低粉尘和减少回弹问题,施工机械化配套问题,锚喷支护作用原理与设计理论的完善等问题。

第一节　梯形棚式支护

梯形木支护和金属支架支护

(1)木支架

巷道中常用的木支架是梯形棚子(图 3-1),是由一根顶梁、两根棚腿以及背板、木楔等组成。每架支架的平面应与巷道的纵轴相垂直。

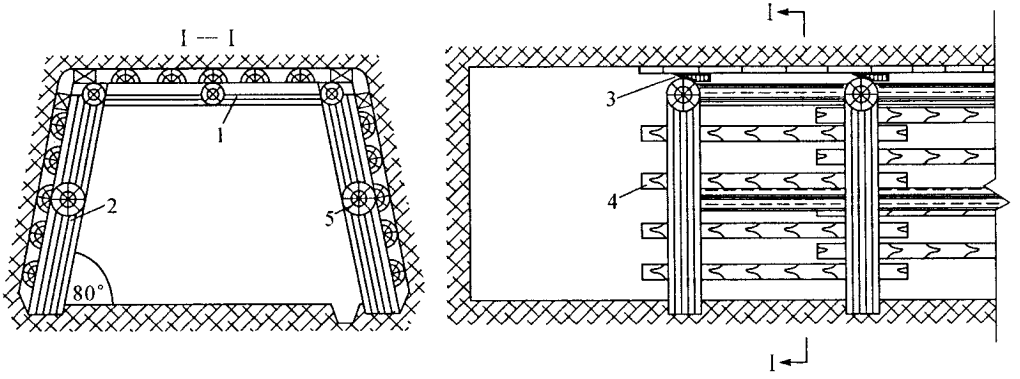


图 3 – 1　木棚支护

1—顶梁;2—棚腿;3—木楔;4—背板;5—撑柱

顶梁和棚腿应选用相同直径的坑木,以便加工和架设。施工时,应使棚腿大头向上。木支架一般可使用在地压不大、巷道服务年限不长、断面较小的采区巷道里,有时也用作巷道掘进中的临时支架。木支架质量较轻,具有一定的强度,加工容易,架设方便,特别适应于多变的地质条件。构造上可以做成有一定刚性的,也可以做成有较大可缩性的。当地压突然增大还能发出声响警号。缺点是强度有限,不能防火,易腐朽,风阻大,不能阻水和防止围岩风化。特别是我国森林资源缺乏,木支架的使用量将越来越少。

对于服务年限小于 15 年的小型矿山,在井筒穿过坚固稳定岩层的条件下,可选用红松等优质木材经过防腐处理后,用于竖井井筒的支护。

(2)金属支架

金属支架的强度大,体积小,坚固耐久,防火,可以制成各种形状的构件。虽然初期投资较大,但巷道维修工作量小,并且可以回收复用。金属支架有以下两种主要形式:

①梯形金属支架

常用 18 ~ 24kg/m 钢轨、16 ~ 20 号工字钢制作,由两腿一梁构成,常用的梁、腿连接方式如图 3 – 2 所示。型钢棚腿的下端焊一块钢板,可防止它陷入底板。

②拱形金属支架

对于动压大、围岩变形量大的巷道,用矿用特殊型钢做成拱形可缩性支架(图 3 – 3),可以避免使用刚性金属支架时可能出现的大量折损。这种支架由三节或四节曲线形构件组成,接头处搭接 0.3 ~ 0.4m,并用螺栓箍紧。当沿搭接处作用的轴向力大于螺栓箍紧所产生的摩擦力时,构件之间便相对滑动。这时,围岩压力得到暂时卸除,直到围岩压力继续增加至一定值时,再次产生可缩现象,如此周而复始。这种棚子的可缩量可达 0.2 ~ 0.4m。

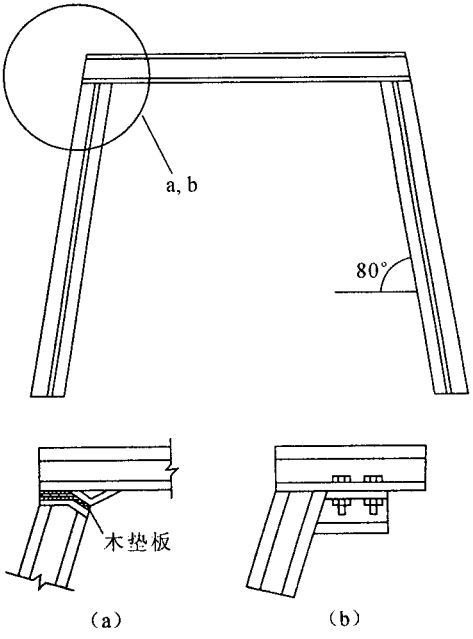


图 3－2　梯形金属支架构造

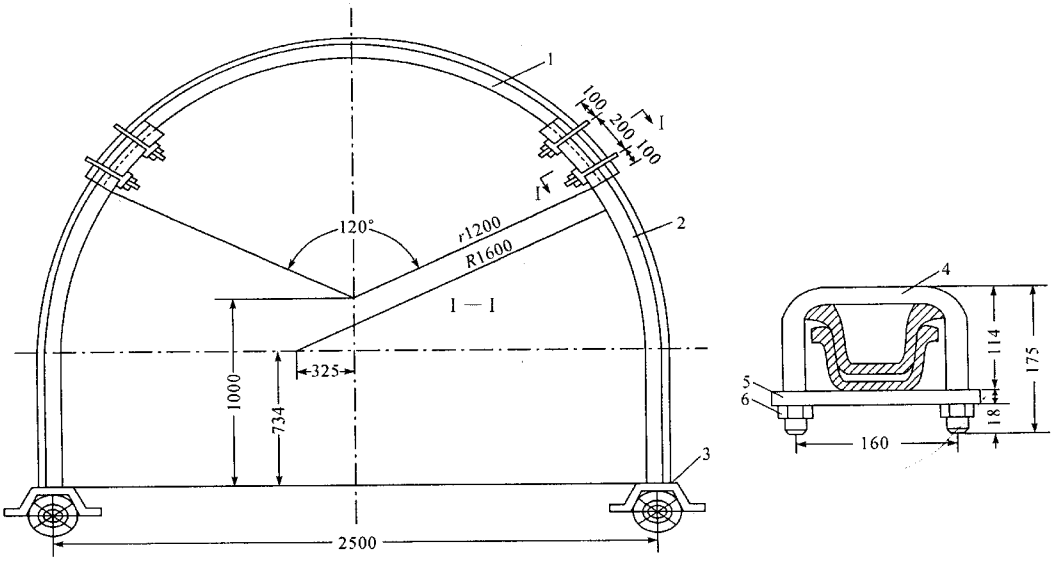


图 3－3　拱形可缩性金属支架

1—顶梁；2—棚腿；3—底座；4—U 形卡；5—垫板；6—螺母

预应力钢筋混凝土支架

由一根顶梁和两根棚腿组成一架棚子。构件是在地面工厂预制的,质量高。可以紧跟工作面架设,并能立即承受地压,支护效果良好。预应力工字型断面钢筋混凝土支架结构如图 3－4 所示。

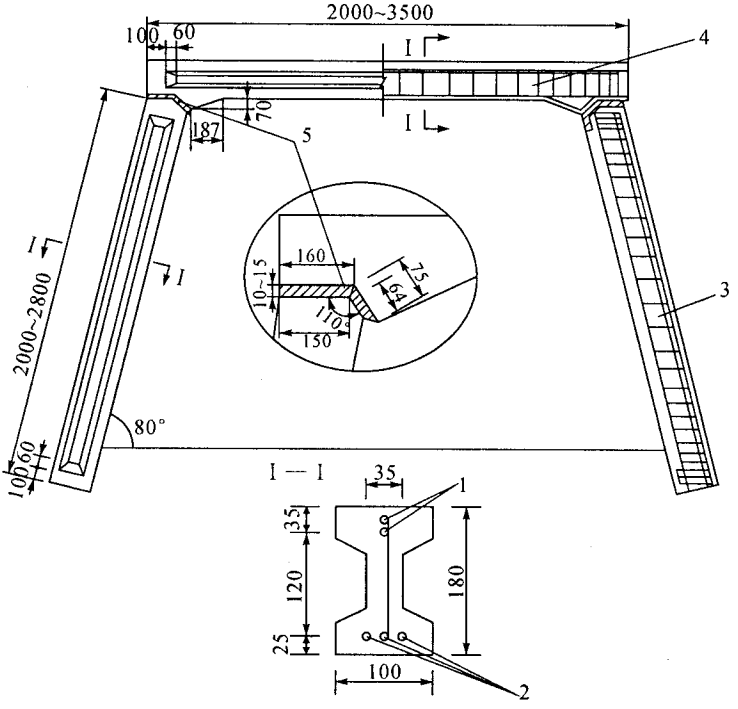


图 3－4　预应力工字型断面钢筋混凝土支架结构图

1—钢筋 ϕ8;2—钢筋 ϕ10;3—棚腿;4—顶梁;5—木垫板

第二节　石材支护

石材支护由拱、墙和基础构成(图 3－5)。使用料石砌筑拱、墙时,一般采用拱、墙等厚。使用混凝土砌拱、料石砌墙时,一般拱、墙不等厚。

石材支护的应用条件

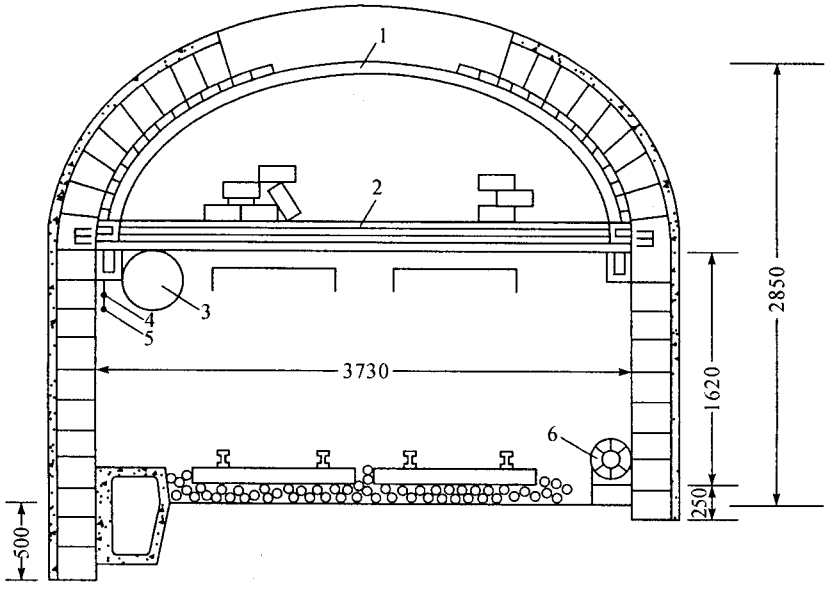


图 3－5　巷道砌碹示意图

1—金属碹胎;2—工作台;3—风筒;4—风带;5—水带;6—压风管

石材支护用于以下情况:当围岩十分破碎,用锚喷网联合支护优越性已不显著时;围岩不稳定,顶帮活石极易塌落,喷射混凝土喷不上、粘不牢,也不易钻眼装设锚杆;大面积淋水或部分涌水处理无效地区;有化学腐蚀地段;巷道服务年限超过 8～10 年。

石材支架的施工

石材支架的施工,多数情况下是在掘进后先架设临时支架,以防止掘进与砌碹之间这一段距离内顶、帮岩石的垮落。临时支架一般采用金属拱形支架。砌碹的顺序如下:

(1)拆除临时支架的架腿。

(2)掘砌基础

基础挖出后,将沟内积水排净,挂好中、腰线,在硬底上铺 50mm 厚的砂浆,然后在其上砌筑料石基础。当用片石砌筑基础时,应选大块的放在下层作为基石。

(3)砌筑侧墙

砌筑料石墙时,垂直缝要错开,横缝要水平,灰缝要均匀、饱满。用毛料石或片石砌筑时,因其凸凹不平,需用片石垫平,使砌块与灰缝紧密结合。砌墙时应根据边线拉水平线,并用水平尺或水准仪检查墙的垂直度和水平度。在砌筑同时,应用矸石充填壁后空隙。

(4)砌拱工作

工作内容包括拆除临时支架的架肩和架顶、过顶、立碹胎、搭工作台、砌碹等。目前巷道施工中多采用金属碹台和金属模板，碹胎可由 14～16 号槽钢或 15～18kg/m 钢轨制成。用料石砌碹的，模板可用 25mm×25mm 的角钢拼焊或用 8～10 号槽钢制作。砌拱必须从两侧拱基向拱顶对称进行，使碹胎两侧均匀受力，以防碹胎向一侧歪斜。当采用料石拱时，砌块应垂直于拱的辐射线，楔形砌块的大头必须向上，各行砌块必须错缝。砌拱的同时，应做好壁后充填工作。封顶时，最后的砌块必须位于正中。拱墙砌筑每告一段落，都应留有台阶式咬合茬，以便下次砌筑接茬。砌筑工作面的横断面布置如图 3－5 所示。

砌筑完毕后，要待拱、墙达到一定强度后，才能拆除碹胎和模板。拆下的碹胎，模板应洗刷和整理，损坏变形的要及时修理，以便复用。

第三节　混凝土支护

混凝土与混凝土材料

由硅酸盐水泥为胶结材料，普通砂石为集料和水配制成拌合物，经适当温度与湿度硬化而成的，其表观密度在 1950～2500kg/m^3 的混凝土，称为普通混凝土。

（1）水泥

在井巷支护中，应用最普遍的是普通硅酸盐水泥，其次是矿渣硅酸盐水泥和火山灰质硅酸盐水泥。

水泥标号按规定龄期的抗压强度来划分，普通水泥分为 325、425、425R、525、525R、625、625R 7 个标号，各标号水泥的各龄期强度不得低于表 3－1 的数值。

表 3－1　普通硅酸盐水泥的各龄期强度

标号	抗压强度（MPa）		抗折强度（MPa）	
	3d	28d	3d	28d
325	12.0	32.5	2.5	5.5
425	16.0	42.5	3.5	6.5
425R	21.0	42,5	4.0	6.5
525	22.0	52.5	4.0	7.0
525R	26.0	52.5	5.0	7.0
625	27.0	62.5	5.0	8.0
625R	31.0	62.5	5.5	8.0

影响水泥强度的因素很多,除水泥本身的质量外,主要有:①普通水泥硬化后,在水、侵蚀性液体与气体或强碱作用下,强度会逐渐降低而遭腐蚀破坏;②某些有机物如糖、油等,能妨碍水泥的凝结和硬化,降低水泥制品的强度;③贮存时间过长和受潮,会使水泥凝结硬化时间延长,强度降低。在一般条件下存放 3 个月后,强度降低 10% ~ 20%,6 个月后降低 15% ~ 30%。水泥贮存时间不宜超过 3 个月。

其他条件相同时,水泥标号越高,混凝土强度越高。

(2)砂

粒径在 5mm 以下的岩石颗粒称为天然砂,按其细度模数 μ_f 分为粗、中、细三级。粗砂 $\mu_f = 3.7 \sim 3.1$;中砂 $\mu_f = 3.0 \sim 2.3$;细砂 $\mu_f = 2.2 \sim 1.6$。常用的是石英砂,以河砂质量为好,海砂、山砂次之。良好的颗粒级配可使砂子间的空隙率减小,从而节省水泥与水的用量,并使混凝土的强度、耐久性和其他技术性能得以提高。天然砂中含有的泥土、云母、轻物质、硫化物、硫酸盐和有机质等有害杂质必须低于规范的规定。

(3)碎石和卵石

由天然岩石或卵石经破碎、筛分而得的粒径大于 5mm 的岩石颗粒称为碎石。由自然作用形成的粒径大于 5mm 的岩石颗粒称为卵石。河卵石比较洁净,海卵石常夹杂贝壳,山卵石常含较多的杂质。

卵石的优点是不需破碎,表面光滑,制成的混凝土拌合物和易性好,易捣固密实,孔隙较少,抗透水性能好;缺点是与水泥浆的粘结力较差,卵石颗粒的坚硬程度不同,含杂质较多,强度比碎石混凝土低。碎石常用于配制高标号混凝土。

颗粒长度大于该颗粒所属粒级的平均粒径 2.4 倍,或厚度小于平均粒径 0.4 倍的针状与片状颗粒的重量含量不应超过 15%。石子饱水状态下的抗压强度应为混凝土的 1.5 ~ 2 倍以上。粘土、淤泥、杂草、硫化物、硫酸盐、有机物的含量应低于规范的要求。

良好的级配可减少石子的空隙和总表面积,减少水泥用量,增加混凝土的密实度和强度。在级配合格的条件下,应选择粒径较大的石子。但石子的最大颗粒尺寸不得超过结构截面最小尺寸的 1/4,同时不得大于钢筋最小净距的 3/4,以保证混凝土能够灌捣密实。通常,石子的最大粒径不要超过 150mm。

(4)水

凡是能饮用的自来水和洁净的天然水都可以拌制混凝土。海水、污水、工业废水、pH 值小于 4 的酸性水、硫酸盐量(按 SO_4^{2-} 计)超过水重 1%的水,以及含有油脂、糖类的水不得用于混凝土中。

混凝土拌合物的和易性

混凝土拌合物的和易性是指混凝土在保证质地均匀、各组成不分离的条件下，适于施工工艺要求的一种综合性质。和易性良好的混凝土拌合物便于灌捣密实，牢固地粘着在钢筋上，混凝土内部均匀，不产生蜂窝、麻面，强度和耐久性好。混凝土的和易性用坍落度表示。

影响混凝土和易性的主要因素是：普通水泥的和易性比火山灰质水泥和矿渣水泥好；水泥越细，和易性越好；水量增多，和易性提高；在水灰比不变的情况下，增加水泥浆量，可提高和易性；砂石颗粒圆滑、级配良好，和易性好；砂率（混凝土中砂子实体体积与砂石总体积之比）过小时，水泥砂浆的体积不足以填充石子的空隙，使混凝土拌合物易离析泌水，和易性差；砂率过大时，由于砂的总表面积增大，包裹砂子的水泥浆层减薄，砂粒间的摩擦阻力加大，和易性差；加入少量塑性外加剂，如加气剂、塑化剂和减水剂等，可改善和易性。

混凝土的强度

混凝土通常以标准条件下养护 28 天的立方体抗压强度为标准强度。混凝土的强度等级有：C7.5、C10、C15、C20、C25、C30、C35、C40、C45、C50、C55、C60 12 个等级。在井巷支护中多采用 C15 ~ C20 混凝土。

影响混凝土强度的因素很多，既有前面所述材料方面的，又有施工条件的影响。水泥标号与水灰比是决定混凝土强度的最主要因素，常用来反映它们之间关系的经验公式为：

$$R_{28} = AR_C\left(\frac{C}{W} - B\right) \quad (\text{MPa}) \tag{3-1}$$

式中　R_{28}——混凝土在标准条件下养护 28 天的抗压强度，MPa；

A——试验系数，用碎石和卵石分别为 0.45 和 0.4；

R_C——水泥标号，一般取水泥标号为混凝土强度的 2 ~ 3 倍；

B——试验系数，一般为 0.5；

$\frac{C}{W}$——灰水比，混凝土中水泥与水的质量比。

混凝土拌合物必须充分搅拌、捣实，才能得到密实坚固的混凝土，否则会出现蜂窝与麻面，影响强度。但对于流动性较大的塑性混凝土，会因振捣时间过长或振捣力过大而使混凝土产生泌水离析现象，导致质量不匀，强度降低。振捣时间以混凝土表面呈现水泥浆和不再沉落为佳。

混凝土浇灌后，必须保持潮湿和一定的温度，才能保证混凝土强度的正常发展。温度越高，强度增长越快；气温降到 5℃以下，必须采取保温措施；当温度降到 0℃时，硬化停止，且可能因结冰膨胀使混凝土强度降低或破坏。混凝土的浇水养护时间为：普通水泥不少于 7 昼夜；火山灰质水泥、矿渣水泥或掺用塑性附加剂、掺用抗渗剂的混凝土不得

少于 14 昼夜。往混凝土拌合水中加人水泥质量 2% ~ 3%的氯化钙,可提高混凝工的早期强度和密实度。

平巷混凝土支护结构与施工

(1)平巷混凝土支护结构

矿山平巷中主要采用直墙拱形支护,由拱、侧墙和基础组成。拱的作用主要是承受顶压,并传递给侧墙和围岩。拱顶厚度取决于巷道的跨度、拱高、岩石的性质和混凝土的强度,可按表 3 – 2 选取。

表 3 – 2　巷道混凝土、混凝土块和料石支护厚度(mm)

巷道净跨度 (mm)	支护厚度及岩石坚固性系数								
	f = 8 ~ 10			f = 4 ~ 6			f = 3		
	混凝土	混凝土块	料石	混凝土	混凝土块	料石	混凝土	混凝土块	料石
1800 ~ 2050	170	200	200	170	200	200	200	250	250
2051 ~ 2550	200	200	200	200	200	200	250	250	250
2551 ~ 2750	200	200	250	200	250	250	250	250	300
2751 ~ 3650	250	300	300	250	300	300	300	300	350
3651 ~ 4250	300	300	300	300	300	300	300	350	350
4251 ~ 4950	300	350	350	300	350	350	350	350	350
4951 ~ 5290	300	350	350	300	350	350	350	350	
5291 ~ 5700	300	350	350	300	350	350	400		

注:采用料石和混凝土块时,应考虑壁后充填,充填料采用 C7.5 ~ C10 混凝土;两料石间的砌缝为 15mm。

直墙能够承受一般的地压,施工方便。墙厚一般等于拱厚,在侧压较大时,可稍大于拱厚。

基础的作用是把墙传来的荷载与自重均匀地传递给底板,并防止支架产生过大的沉陷。在底板岩石坚固的情况下,基础就是直墙的延深部分,其宽度就是墙厚,深度一般为墙厚的 1 ~ 2 倍,在无水沟一侧通常为 0.25m,有水沟一侧约 0.5m,通常是与水沟一起浇灌的。当墙传递的力较大或底板岩石比较松软时,应适当增加基础的宽度,加宽部分通常伸向墙内底板。在底板压力很大可能产生底鼓的情况下,可在巷道底砌筑反拱。

在支架可能出现拉应力的部位可布置钢筋。受力钢筋沿巷道横断面布置,直径为 12 ~ 30mm,间距为 80 ~ 300mm;分布钢筋沿巷道轴向布置,直径 5 ~ 12mm,间距 100 ~ 350mm,两种钢筋在相交处用细铁丝绑扎,多布置单层钢筋。

(2)平巷混凝土支护的施工

①拆除临时支架。先清理两帮的浮石,如安有临时支架就先拆除其棚腿,棚梁、棚肩部分仍承托在插入两帮的钢轨橛子上。在顶板压力特大地段不能拆除临时支架时,允许

把临时支架砌入碹拱内。

②掘砌基础和水沟。先清理两帮底板浮石，挖出基坑和水沟，排出基坑内积水，经测量后浇灌混凝土。

③砌墙。根据巷道的中线和腰线架设模板，先放底梁，然后安设立柱、托梁和横梁。立柱和岩帮间可顶上撑木，最后安装模板（图 3－6），分层浇灌并捣实混凝土。人工捣实的分层厚度不得大于 300mm，用插入式振动器捣实的分层厚度不应大于插入部分长度的 1.25 倍。

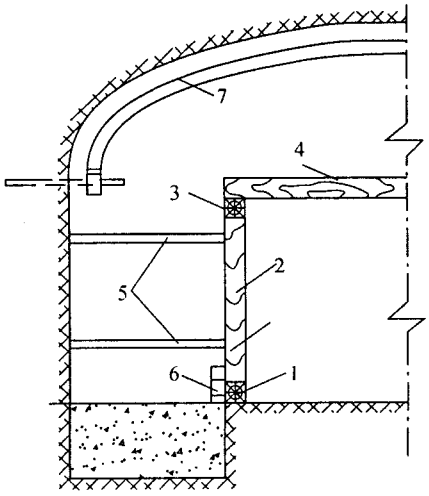


图 3－6　混凝土墙的施工

1—底梁；2—立柱；3—托梁；4—横梁；
5—撑木；6—模板；7—临时支架

④砌拱。拆除临时支架的棚梁，利用中线和腰线架设碹胎和模板，测量校正后浇灌混凝土，由起拱线开始向中心对称浇灌并分层捣实。

⑤拆模清理。巷道内混凝土碹的拆模期一般不少于 5 天，拆模时切忌用大锤敲打，以免碹胎、模板变形。拆下的模板应洗刷整理，损坏变形的应及时修复校正。如砌碹表面质量有不足之处，应予修补。如局部需挖补翻修时，应使用速凝混凝土或水泥砂浆。

竖井混凝土支护结构与施工

（1）竖井混凝土井壁的结构

①井颈的结构

井颈由盘壁、盘面和壁座组成。由于井颈承受很大的垂直荷载和侧压，承受提升的动荷载，所以井颈壁厚比井身壁厚大，井颈上部应特别加厚。井颈的壁座应修筑在坚固

的土层或基岩中，一般采用双锥形壁座，其高度和宽度为 1～3m。

②井壁的厚度

当井壁承受均匀地压时，圆形井筒井壁厚度可按承受均匀外力作用的厚壁圆筒公式计算。但由于井壁所受荷载尚难以准确求得，因此理论计算厚度只能供设计参考，目前一般根据经验数据（表 3－3）参照计算结果选取。

表 3－3　井壁厚度参考表

井筒净直径（m）	井壁厚度（mm）			备注
	混凝土	混凝土块	料石	
3.0～4.0	250	300	300	本表适用于 $f=4\sim6$ 的岩层；用混凝土块与料石砌碹时壁后充填为 100mm；混凝土采用 C15
4.5～5.0	300	350	300	
5.5～6.0	350	400	350	
6.5～7.0	400	450	400	
7.5～8.0	500	550	500	

③壁座的形式与尺寸

立井井壁一般采用无壁座施工，但在井颈下部，厚表土层下部基岩处，马头门上部 5～10m 处和需要延深的井筒井底水窝下部需设置壁座。此外，在穿过水文地质条件复杂或破碎的岩层时也需要在适当的位置设置壁座。壁座的形式常采用单锥形或双锥形两种（图 3－7）。前者适用于较坚硬的岩层中，后者适用于上部荷载较大或抗压强度较低的岩层中。壁座应尽量布置在比较坚固、涌水量小的岩层中。

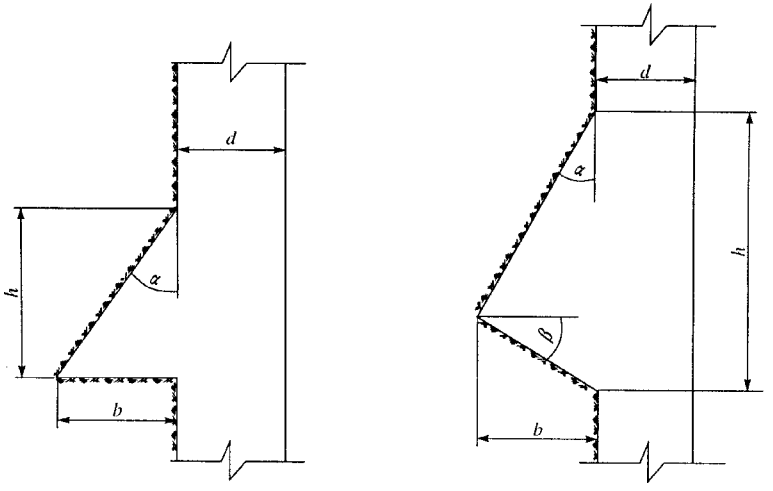


图 3－7　单锥形壁座（左）与双锥形壁座（右）

壁座尺寸的大小由围岩的稳定性、壁座上部井壁的质量和施工的需要来决定。根据经验，壁座高度 h 一般不小于壁厚 d 的 2.5 倍，宽度 b 一般不小于壁厚的 1.5 倍。常见的壁座尺寸为宽 0.4～1.2m，高 1.0～1.5m，单锥形壁座 $\alpha = 30° \sim 35°$，双锥形壁座 $\alpha = 40°$，$\beta = 20° \sim 30°$。

（2）竖井混凝土井壁的施工

通常自上而下分段砌筑混凝土井壁，在每个分段内则是自下而上进行砌筑。掘砌段高根据岩层条件和掘进速度而定，以保持围岩稳定为原则。对于稳定岩层，习惯以月进度作为掘砌段高；对于断层破碎带，随掘随砌。

①模板

整体混凝土井壁施工主要采用金属模板、移动式金属模板、金属整体滑升模板。

金属模板：每圈模板由若干块弧形板组成，弧形板由型钢与钢板组焊而成，模板高度一般为 1～1.2m，各块模板之间用螺栓连接。

移动式金属模板：门轴式移动模板的整圈模板分为两大扇，用门轴连接成整体，其中的一扇设有活动门，该门可绕另一门轴转动。可以整体移动吊装，加快了施工速度。此外还有螺旋调节式、联杆式、双楔螺杆式、搭接螺栓伸缩式、门扉式移动模板。

金属整体滑升模板：利用已砌筑的外层井壁导向，起重系统由下向上推动模板整体滑升，可以连续浇灌，井壁间没有接茬，整体性好，封水性强，质量好，速度快，劳动强度低。

②金属模板的立模

从掘进工作面砌壁时，在掘进工作面留下约 1.5m 厚的岩砟，整平并留下水窝，沿周边铺上厚 50mm 的砂，安放托盘（图 3－8），埋设吊挂下段临时井圈的生根钩，然后组立模板，用中线校正模板圆心，用边线校正模板的垂直度，用撑木把模板撑紧固定，就可浇灌混凝土。浇灌时要在周边均匀浇注，以免模板偏斜。浇注到模板高度的 2/3 时就可拆去撑木和临时支架，立第二层模板，两层模板之间用螺栓连接，用边线校正位置，用撑木顶紧定位后，继续浇灌混凝土。一般经 3～7 天才能拆摸。

有壁座时，该段井壁应从壁座处开始往上砌筑。

当采用掘砌平行作业时，永久井壁在距掘进工作面一定高度的地方开始向上砌筑。施工时用吊盘或稳绳盘来承受第一圈井壁和模板的质量，也可在井帮打托钩，架设井圈做托盘。

③混凝土的输送

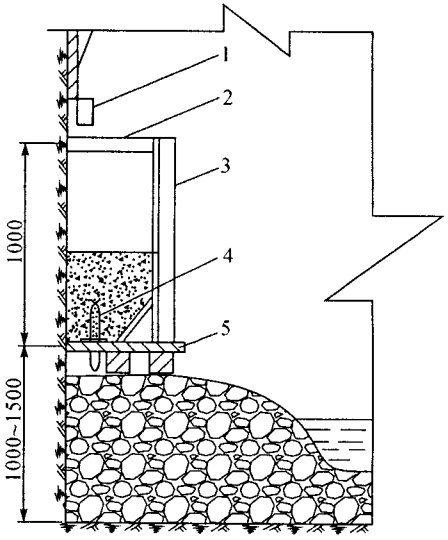


图 3-8　在工作面组立模板

1—临时支架;2—撑木;3—模板;4—生根钩;5—托盘

地面搅拌好的混凝土,通过漏斗、伸缩管、溜灰管、缓冲器、活节管直接浇入模内。溜灰管直径以 150mm 为宜。每次下料前,要先送一部分砂浆,避免因混凝土内砂浆附着于管壁而离析。石子粒径不超过 30~40mm,以增大石子与砂浆的接触面积。水灰比应控制在 0.65 以下,坍落度应在 80~120mm 范围内。为了预防管路堵塞,应连续输送。若下料间隙超过 15min,需用水冲洗管路,浇灌完一个段高后用水和碎石冲刷。

④混凝土井壁接茬

良好的井壁接茬可以避免开裂或漏水现象。

全面斜口接茬:最后一套模板与上段井壁间留有 100mm 空隙。待浇至模板高度时,在模板上架设由 12 号槽钢制成的接茬碹骨圈,边插接茬模板边浇灌混凝土,灌满后用木楔把接茬模板与上段井壁挤紧(图 3-9(a))。

窗口接茬法:在上段井壁下端的一圈内,预先留若干 300mm×300mm 的窗口,窗口间距在 2m 以内。接茬时,由窗口浇灌混凝土,最后用小模板封口(图 3-9(b))。

倒角接茬法:最后一套模板在其上端向井内形成一倒角,灌满混凝土后,脱模刷掉鼓包(图 3-9(c))。

⑤井壁淋水的处理

对于井帮淋水采取截水的办法。对上段永久井壁的淋水,可在含水层下砌筑永久截水槽,将截住的淋水导至井底由吊泵排走。对于临时支护的淋水,可用吊盘折页挡水或

用挡水板挡水，也可用圆钢和帆布做成水槽截挡淋水。当砌壁工作面通过含水层时，要采取埋设导水管的办法把涌水导走。

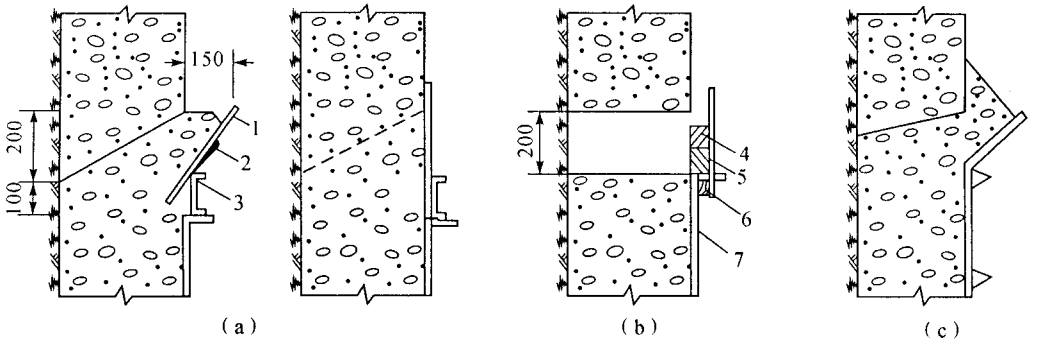


图 3－9　混凝土井壁接茬

1—接茬模板；2—木楔；3—槽钢碹骨圈；4—小模板；5—铁插销；6—木垫板；7—模板

第四节　锚杆支护

锚杆是一种锚固在岩体内部的杆状体。采用锚杆支护巷道，就是当巷道掘进后向围岩中钻眼，然后将锚杆安设在锚杆眼内，对巷道围岩进行人工加固。

锚杆具有很多优点：节约坑木和钢材，降低支护成本，掘进断面小，巷道的变形小，维修费用低，工作安全，轻便，可以减轻体力劳动，减小通风阻力，有利于一次成巷施工和加快掘进速度，使用范围广，适应性强，减少运输量，有利于矿井的运输和提升。但是锚杆不能预防围岩风化，不能完全防止锚杆与锚杆之间裂隙岩石的剥落，因此，锚杆配合其他支护措施，如与金属网、喷浆或喷射混凝土等联合使用，会取得更好的支护效果。

锚杆支护原理

（1）悬吊作用

锚杆将软弱岩层吊挂在上面坚固稳定的岩层上，防止离层脱落（图 3－10）。煤层巷道的直接顶板一般比较软弱且较薄，容易离层冒落，它上面的老顶则比较坚固。锚杆可以通过直接顶板达到老顶，把直接顶锚固在老顶上。

（2）组合梁作用

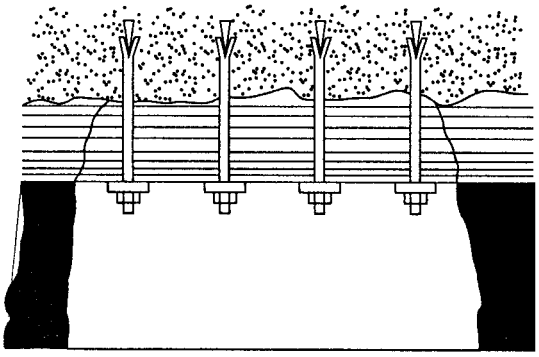


图 3－10　锚杆的悬吊作用图

在层状岩层的巷道顶板中，通过锚入一系列的锚杆，将锚杆长度以内的薄层岩石锚成岩石组合梁，从而提高其承载能力。图 3－11 为板梁和组合梁刚度与强度的对比示意图。在相同的荷载作用下，组合梁比未组合板梁的挠度和内应力大为减小。

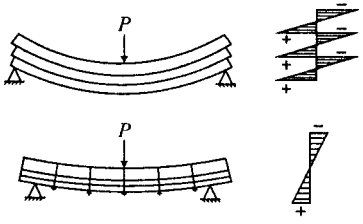


图 3－11　板梁和组合梁挠度与内应力对比示意图

P—荷载；＋—拉应力；－—压应力

（3）围岩补强作用

巷道深部围岩中的岩石处于三轴受压状态，而靠近巷道周边的岩石则处于二轴受力状态，强度小于前者，故易于破坏而丧失稳定性。巷道围岩被锚杆锚固后，表层岩石部分地恢复了三轴受力状态，增大了它本身的强度，另外，锚杆还可以增加岩层弱面的剪断阻力，使巷道周边围岩不易破坏和失稳，这就叫作围岩补强作用。

（4）挤压联结作用

锚杆将巷道围岩挤紧，对岩石施加预应力，阻止裂隙的继续扩大，而且，对于松散岩石也能起到挤压联结和加固作用。国外做过一个简单而有趣的试验：用一个长方形木箱，里面填紧小碎石，并用模拟的锚杆将它们锚固起来，锚杆拧紧以后，将木箱翻转，其中充填的小碎石竟倒不出来，如图 3－12 所示。通过锚杆的预应力作用，可以在彼此毫无粘结力的碎石之间产生一种侧向挤压摩擦阻力，足以支持碎石自身的重量而不会掉下

来,好像碎石间互相联结起来一样。

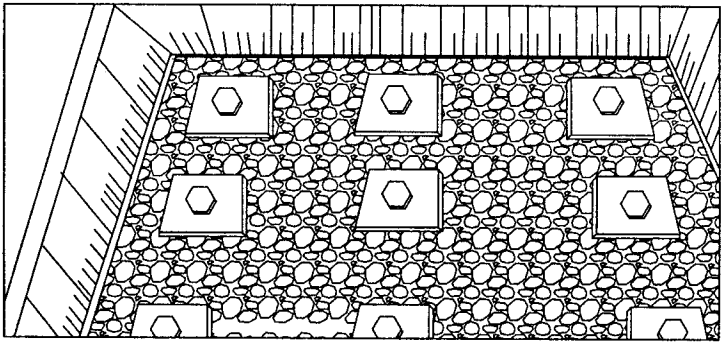


图 3 – 12　锚杆锚固碎石试验

(5)挤压加固拱作用

将上述试验继续做下去,用锚杆锚拴起来的小碎石,不仅它们挤压联结在一起足以支持自身的重量,而且,它还可以作为一种承载结构,支持额外的荷重。通过加载试验,发现加载的锚固碎石构件在锚杆垫板之间会出现一个拉应力区,致使该区内的小碎石松散而脱落下来,并形成了穹窿。当荷载增大时,这穹窿将扩大而导致承载结构的崩塌解体。为防止这一情况,在锚杆垫板下张挂细铁丝网便大大提高了锚杆的支护能力,当荷载加到相当大时(反复加载),破坏是以铁丝网被剪断而开始的。以上试验说明,松散碎石在预应力作用下围绕每根锚杆形成一个两头带圆锥形的筒形挤压区或压缩应力区,在系统排列的锚杆群中,这些挤压区便组成了一个具有相当宽厚的均匀压缩加固带,它相当于一种承载结构而支承相当大的荷载。巷道周围安装成组排列和径向布置的锚杆后,便在围岩的一定厚度范围内形成了一个拱形压缩带或挤压加固拱,它使巷道围岩由原来是支架上的"荷载"变成了"承载"结构。如图 3 – 13 所示,拱形压缩带的厚度与锚杆的长度、间距有关。

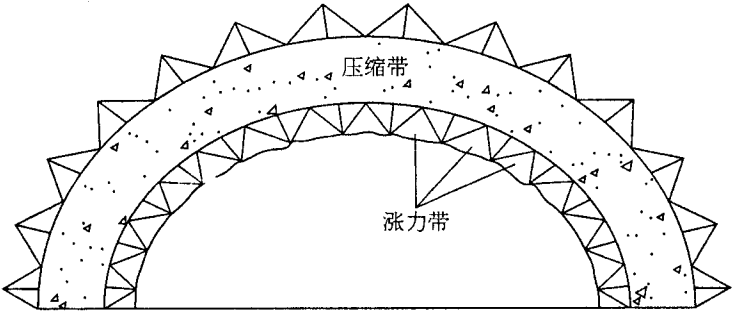


图 3 – 13　巷道锚杆形成拱形压缩带示意图

以上所述锚杆的五种作用，通常不是单独存在，而是互相联系、互相补充、共同作用的。

锚杆类型

锚杆的类型多种多样：按锚固原理来分，有端头锚固、全长锚固和两者并用型；按锚杆组成材料来分，有金属锚杆、木锚杆、钢筋或钢丝绳砂浆锚杆和树脂锚杆等。下面介绍几种常用锚杆。

（1）金属锚杆

①金属楔缝式锚杆。由杆体、楔子、垫板和螺帽组成（图 3－14）。杆体常用直径 18～22mm 的 3 号钢制作，其上端加工成宽 2～5mm、长 150～200mm 的纵向楔缝，杆体下端 100～150mm 长的范围内加工成螺纹。楔子用软钢或铸铁制造。垫板多用厚 6～10mm 的钢板制成，其规格为 150mm×150mm 或 200mm×200mm。

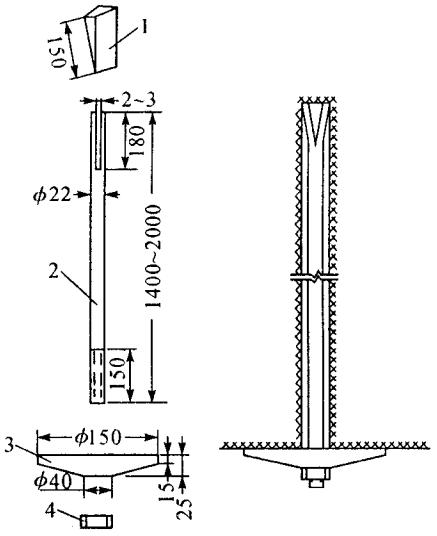


图 3－14　金属楔缝式锚杆

1—楔子；2—杆体；3—垫板；4—螺帽

安装时，先把楔子夹在楔缝中，轻轻插入预先钻好的锚杆眼眼底，在杆体下端加保护套筒或拧上保护螺纹的螺母，然后对杆体不断锤击，楔子挤入楔缝，从而迫使杆体的锚人端张开而挤紧眼底孔壁，最后取下保护套筒，安上垫板，拧紧螺帽。这种锚杆结构简单，加工容易，在硬岩中锚固力较大，一般可达 100kN 或以上。但它对钻孔的精确性要求严格，杆体直径较大，钢材用量较多，在软岩中它的锚固力不足，不宜采用。

②金属倒楔式锚杆。它的锚人端有一个大头朝向孔底的铸铁固定楔，固定楔与圆钢

杆体浇注在一起，另外配有一个铸铁活动倒楔，杆体的另一端加工成螺纹（图 3－15）。

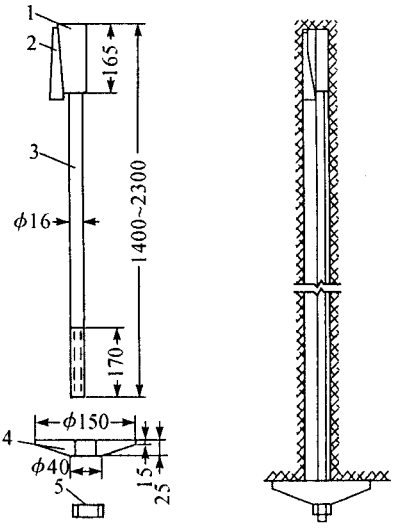


图 3－15　金属倒楔式锚杆

1—固定楔；2—活动倒楔；
3—杆体；4—垫板；5—螺帽

安装时，先把倒楔绑在固定楔的下部，慢慢送入锚杆眼内，并使楔底距眼底一定距离，然后用一根专用的锤击杆，顶在倒楔的尾端，再用凿岩机进行锤击，就可将锚杆锚固在岩层中，最后装上垫板拧紧螺帽即成。

这种锚杆除了结构简单制造容易外，它比楔缝式锚杆的杆体直径小，一般为 12～16mm，可节省钢材，对钻孑 L 深度的要求不太严格，而且巷道报废时能够回收，一般锚固力在 50kN 以上，因此这种锚杆在我国应用较多。

（2）树脂锚杆

树脂锚杆以合成树脂为粘结剂，在固化剂和加速剂的作用下固化，从而将锚杆体与岩石牢固地粘结成为一个坚固的整体。

树脂锚杆的最大特点是固化时间快，能在几分钟到几小时内获得很高的初锚力，能够迅速有效地控制围岩变形。我国研制成功的树脂锚杆是一种药包式端头锚固的锚杆，由树脂药包和锚杆杆体组成。

①树脂药包结构。药包有 φ23mm × 50mm 和 φ23mm × 35mm 两种规格，由内药包和外药包组成。内药包为 φ8mm～φ12mm 的玻璃小管，内装固化剂与少量填料；外药包为聚乙烯薄膜塑料袋或玻璃管，内装不饱和聚酯树脂、加速剂及填料（瓷粉或石英粉）。

②杆体。有钢、木杆体两种，钢杆体见图 3－16，它是由 ϕ6mm～ϕ8mm 的普通圆钢加工而成。杆体长 1.5～2.5m，插入孔底的一端做成反麻花状。杆体的外露端与其他金属锚杆一样加工成螺纹，并用垫板和螺帽紧固。安装时，用锚杆体将树脂药包送到眼底，以煤电钻为动力，通过特制的连接头带动杆体转动，将药包捣破并搅拌 30s 左右，使化学药剂混合，发生化学反应，树脂便由液态聚合转化为固态，将岩石和锚杆体胶结固化在一起。然后安上托板，拧紧螺帽。树脂锚杆的凝固时间为 3～5min，10min 后即可承载，一小时的锚固力达 70～100kN，充分显示了树脂锚杆良好的物理力学性能。

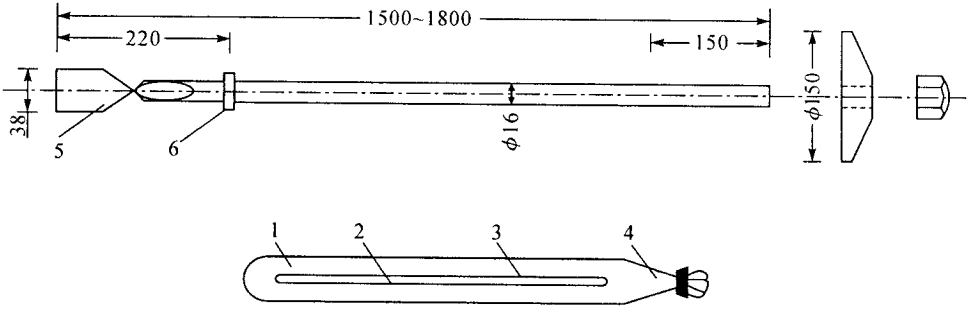


图 3－16　树脂锚杆的树脂药包结构图

1—树脂；2—固化剂；3—玻璃小管；4—聚乙烯薄膜塑料袋；5—左旋麻花部分；6—ϕ38 挡圈

第五节　锚索支护

近年来锚索支护技术发展迅速，广泛应用在岩土边坡、交通隧洞、矿山井巷、深基坑、坝基及结构加固等方面。在软岩巷道加固工程中采用预应力锚索，施工比较灵活，可以与其他加固措施相结合，具有不缩小巷道断面、工期短、安全可靠和节约资金等优点，对破损巷道的加固具有优势。

随着我国采煤机械化程度的提高，工作面开切眼、风巷、机头硐室的断面尺寸逐渐加大。在顶板岩石比较松软时，单一的锚杆支护（包括锚网、锚梁网等）很难适应。由于软弱夹层的存在，按常规设计的锚杆支护形式及参数，往往不能有效地支护，如果配以少量的锚索，就可以将锚固体悬吊于稳定坚硬的老顶上，避免离层及出现巷道顶板整体下沉或垮落。

锚索的作用原理

把锚索锚固入岩层深部并预加应力，传递主体结构的支护应力至深部稳定岩层进行主动支护。可以传递较大的拉应力，是其他支护方式无法比拟的最大优点。锚索长度一般是锚杆长度的 3～5 倍甚至更大，除具有普通锚杆的悬吊作用、组合梁作用、组合拱作用、挤压联结作用外，与普通锚杆不同的是对巷道顶板进行深部锚固而产生强力悬吊作用，并沿巷道纵轴线形成连续强支撑点，以大预应力减缓顶板岩石变形。当锚杆、锚索及时支护之后，形成锚杆、预应力锚索的加固群体。这样，相邻的锚杆、锚索的作用力相互叠加，组合成一个“承载层”或承载拱，这个新的承载层厚度比单用锚杆成倍增加，能使围岩发挥出更大的承载作用，如图 3－17 所示。

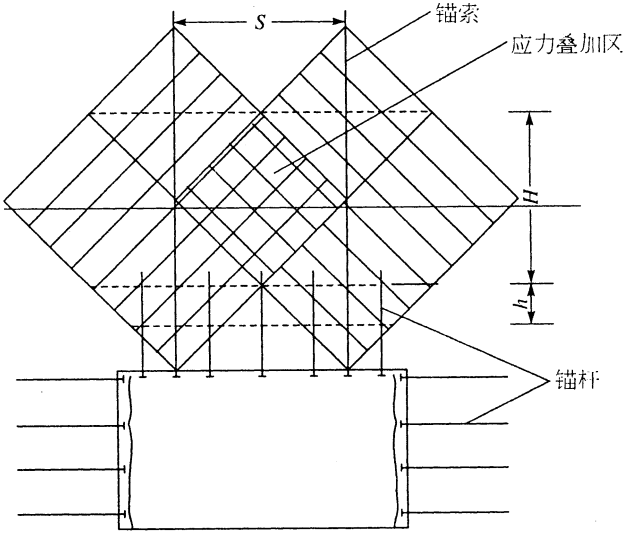


图 3－17　锚索锚杆群联合加固作用原理

锚索结构与矿用锚索

（1）锚索结构

预应力锚索一般由锚固段、自由段和张拉端三部分组成。锚固段是锚索锚固在岩体内提供预应力的根基；自由段是连接锚固段与张拉端的索体部分；张拉端是锚索位于孔口的外露部分，是锚索借以提供张拉预应力和锚固锁定部位（图 3－18）。巷道锚索系列的技术参数如表 3－4 所示。

（2）矿用锚索

锚索的类型很多，因矿山巷道的特殊环境，大型锚索极少应用。巷道适合采用结构简单、小孔径（孔径28～32mm）、长度为5～10m的锚索，利用轻型锚杆钻孔即可施工，主

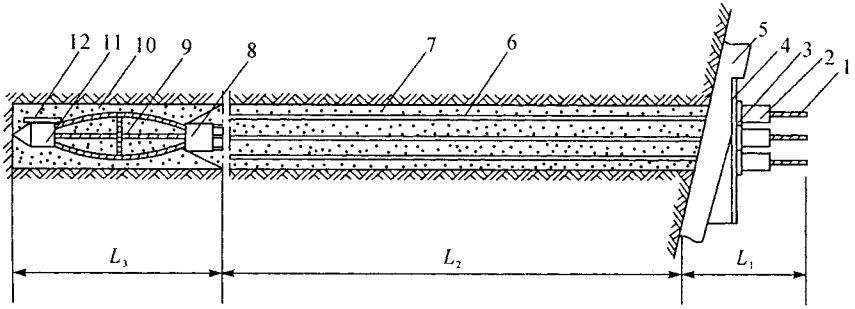


图 3－18　预应力锚索结构图

1—钢绞线；2—锚具；3—球铰垫片；4—垫板；5—垫墩；6—自由段索体；7、10—水泥砂；8—对中支架；9—架线环；11—导向帽；12—排气管；L_1—张拉端；L_2—自由段；L_3—锚

表 3－4　MH 型煤矿巷道锚索系列技术参数

巷道锚索系列型号	钢绞线根数（根）	1470N/mm²		1860N/mm²		锚具型号	钻孔直径（mm）	锚索长度（m）
		设计荷载（kN）	极限荷载（kN）	设计荷载（kN）	极限荷载（kN）			
MH－100	1	100	180	100	230	OVM15－1	28～32	5～10
MH－200	2	200	370	200	470	OVM15－2	50～75	10～15
MH－400	3	400	560	400	700	OVM15－3	90	10～15
MH－600	4	600	750	600	940	OVM15－4	90	10～20
MH－800	5	800	930	800	1170	OVM15－5	90	10～20
MH－1000	7	1000	1310	11000	1640	OVM15－7	110	10～30

要用于巷道的加强支护。煤矿巷道所用锚索多采用树脂锚固剂端头锚固，锚固长度根据设计要求确定，一般不小于 1m，其结构如图 3－19 所示。

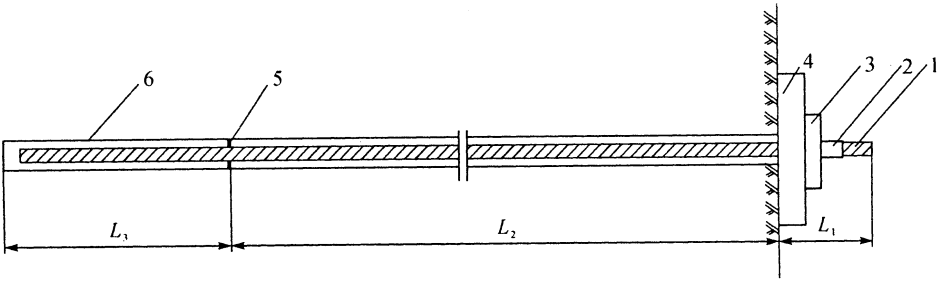


图 3－19　煤巷端头锚固式锚索结构示意

1—钢绞线；2—锚具；3—垫板；4—钢托板；5—挡片；6—树脂；L_1—张拉端；L_2—自由段；L_3—锚固段

构成锚索的主要材料通常是下列三种钢材之一:高强预应力钢绞线、高强预应力钢丝和精轧螺纹钢筋。对钢材的特性要求主要是强度、延性和松弛值。锚索材料应选用强度高、韧性好和低松弛的钢材。尤其用于巷道中的锚索,如果采用既有一定刚度又有一定柔性的钢绞线制作,那么运输与安装就十分方便。目前较为广泛采用的 7 丝钢绞线(见表 3 – 5),断面面积较大,比较柔软,操作方便。

表 3 – 5　低松弛钢绞线性能参数

直径(mm)	12.0		15.0	
级别	250k	270k	250k	270k
截面积(mm^2)	92.90	89.71	139.35	140.00
最低破断荷载(kN)	160.1	183.7	240.2	260.7
千米重(kg/km)	730	775	1094	1102
1%延伸率的相应荷载(kN)	136.2	156.1	204.2	221.5
延伸率(≥%)	3.5			
屈强比(低松弛钢绞线)(%)	90			
在 20℃应用 70%破断荷载在 1000h 后的松弛(%)	2.5			

锚索支护设计

(1)锚索支护设计原则

在正确评估地质条件后,采用工程类比法,必要时辅以监控量测法、理论验算法及试验拉拔法进行设计。设计内容包括锚索的类型、锚固剂种类、锚固长度、锚索长度、锚索支护密度、锚索的布置及排距等。

(2)锚索主要参数的确定

①锚固长度

根据拉拔试验数据,考虑到岩性和施工等影响因素及安全系数确定锚固长度。通常水泥砂浆锚索锚固长度≥2.5m;树脂药包锚索锚固长度≥1.0m。

锚索的破坏形式一般是胶结体与钢绞线的粘结破坏,锚索从胶结体中拔出。在锚索支护设计中应保证钢绞线与胶结体有足够的粘结强度,才能保证锚索的支护效果。

按 GBJ86—85 要求,锚索锚固长度 L_a 应符合下式:

$$L_a \geqslant k \frac{df_s}{4f_c} \tag{3-2}$$

式中　k——安全系数，一般 k 取 2；

d——锚索钢绞线直径，mm；

f_s——钢绞线抗拉强度，N/mm^2；

f_c——锚索与锚固剂的设计粘结强度，一般煤巷锚索多用树脂作锚固剂，其粘结强度 $f_c = 10N/mm^2$。

②锚索长度

锚索宜锚固在围岩内部较稳定的岩层中。对于高应力区的软岩层，锚索应锚固在受开挖影响应力变化范围之外。锚索长度 L 可用下式计算：

$$L = L_a + L_b + L_c + L_d \tag{3-3}$$

式中　L_a——锚索深入到较稳定岩层的长度，m；

L_b——需要悬吊的不稳定岩层厚度，m；

L_c——上托板及锚具的厚度（一般≥0.1m），m；

L_d——需要外露的张拉长度（一般≥0.2m），m。

可根据围岩性质及钻眼机具的能力综合考虑锚索长度。煤巷锚索一般为 4～8m；高应力软岩巷道一般为 10～15m。

③锚索支护密度的确定

$$N = K\frac{W}{P_b} \tag{3-4}$$

式中　N——锚索数目，根/m；

K——安全系数，一般取 2；

P_b——锚索的最低破断力，kN；

W——每米巷道的静压力，为巷道掘进宽度、悬吊岩层厚度、悬吊岩层的平均体分布力这三项的乘积，kN/m。

④锚索布置

为获得最佳悬吊作用效果，锚索以垂直巷道顶板岩层层面安装最为有利，同时，垂直布置也便于施工操作。锚索的排列一般按“三花”或“五花”布置为宜。

⑤树脂药卷数量确定

当使用树脂锚固剂时，按照锚固长度要求，树脂药卷数量可按下式计算：

$$X = \frac{L_a(\varphi_1^2 - \varphi_2^2)}{L_s\varphi_3^2} \tag{3-5}$$

式中　X——树脂药卷数量，支；

L_a——锚固长度，mm；

L_s——树脂药卷长度，mm；

φ_1——锚索孔径，mm；

φ_2——锚索直径，mm；

φ_3——树脂药卷直径，mm。

支护效果：过去的综采切眼采用金属棚子支护，几乎无一例外都出现过冒顶，还出现多次大冒，顶板下沉与支架变形严重，甚至被摧毁，安全没有保证。采用锚杆、锚索联合支护后，大大改善了巷道围岩的完整性与稳定性。通过对巷道顶底板位移的观测，位移量很小，综采设备的安装与生产非常顺利。

第六节　喷射混凝土支护

干式喷射混凝土支护是将一定配合比的水泥、砂、石和速凝剂组成的拌合料，通过混凝土喷射机用压缩空气作动力沿着管路压送到喷嘴处，与水混合后以较高的速度（30～120m/s）喷射在岩面上凝结硬化而成的一种新型支护形式。

工艺流程及其特点

目前普遍使用的干式法或半湿式法喷射混凝土的工艺流程见图 3－20 所示。先将砂、石过筛，按配合比和水泥一同送入搅拌机内搅拌，然后用矿车或其他运输工具将混合料运送到工作面，经上料机进入以压缩空气为动力的喷射机，再经输料管、异颈葫芦管到喷头处与水混合，喷向围岩表面。与普通混凝土相比，喷射混凝土在物理力学性能和对围岩支护特性方面具有以下主要特点：①混凝土以较高的速度从喷头喷向岩面，使水泥颗粒受到重复碰撞冲击，混凝土喷层得到连续冲实和压密，同时喷射工艺又允许采用较小的水灰比（0.45 左右），因此喷射混凝土层具有良好的物理力学性能，粘结力大，能够与岩石紧密地粘结在一起，形成独特的支护作用；②喷射混凝土能随着巷道掘进及时施工，且加入速凝剂后它的早期强度成倍增长，能够控制围岩的过度变形与松弛；③喷射混凝土层较薄，具有较好的柔性，可以与围岩一起共同变形，产生一定量的径向位移。

喷射混凝土配合锚杆支护已经获得越来越广泛的应用。在技术上和经济上与普通混凝土相比有以下优越性：①由于锚杆支护能提高井巷围岩的自身稳定性和承载能力，并与岩层构成共同承载的整体，支护厚度可减薄一半，井巷掘进断面亦可相应减小10%

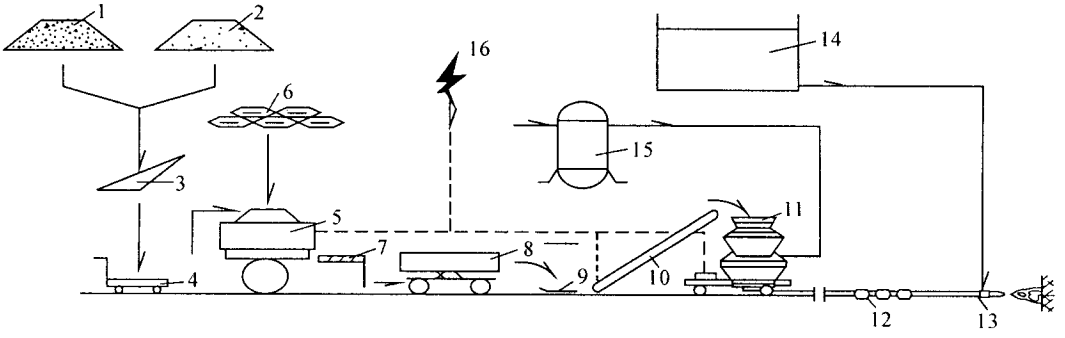


图 3－20　喷射混凝土的工艺流程

1—石子；2—砂子；3—筛子；4—磅秤；5—搅拌机；6—水泥；7—筛子；8—运料小车；9—料盘；10—上料机；11—喷射机；12—异颈葫芦管；13—喷头；14—水箱；15—风包；16—电源

～20%；②把混凝土的运输、浇灌、捣固等工序交给一条作业线去完成，免除了立模、拆模等繁琐工序，施工工艺大为简化，可以用管道长距离输送喷射混凝土；③与砌碹相比，可以节约模板所用的木材或钢材，混凝土亦可节约 40%左右，施工速度可提高 2～3 倍，成本可降低 1/3～1/2，工效提高 3～4 倍，工时减少 75%～80%。

混凝土喷射机

混凝土喷射机是喷射混凝土工艺中的主要设备，它的性能关系着喷射效率和喷射质量。混凝土喷射机种类较多，按喷射工艺可分为干式和湿式两大类，从构造原理来看，又可分为双罐式、转体式、螺旋式、简易式和湿喷机等五种。下面介绍几种常用的混凝土喷射机的基本构造和工作原理。

（1）双罐式喷射机

主要有 WG－25 型和冶建－65 型。前者的构造如图 3－21 所示。由罐体、拨料机构、气控管路、车架和喷头等组成。这种喷射机能够连续喷射，生产能力较大，工作稳定可靠，适用于远距离输料，但它的体积大而较笨重，上料比较困难，操作也复杂，若改为风力联动之后，可实现操作半自动化。

（2）转子式Ⅱ型混凝土喷射机

转子式Ⅱ型混凝土喷射机有一个带若干圆筒形料孔的给料旋转体，由电动机带动不断旋转，与旋转体一同转动的搅拌器拨动干拌合料，不断地由上部料仓定量地漏入旋转体的圆形料孔中，当该料孔旋转至出料管处时，恰好有对准料孔的压缩空气进入，把干料送至喷头，形成连续不断的喷射作业。这种喷射机结构紧凑，体积较小，操作简单，启动后能自行连续运转，生产能力较高，是一种很有发展前途的混凝土喷射机。

（3）湿式混凝土喷射机

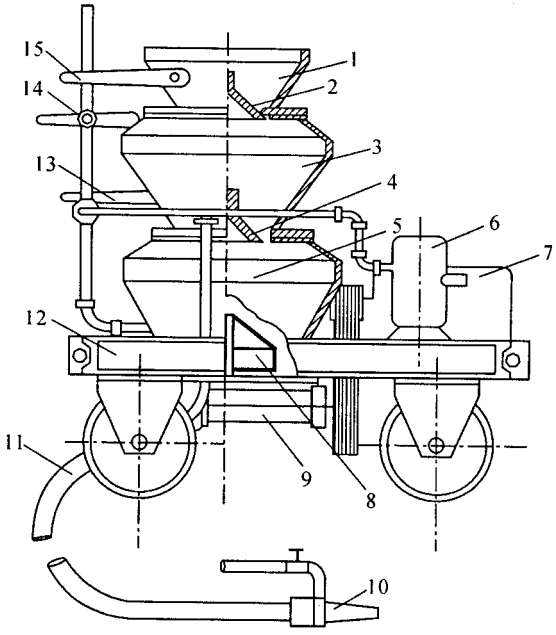


图 3－21　WG－25 型混凝土喷射机

1—装料斗；2—上钟形阀；3—上罐；4—下钟形阀；5—下罐；6—油水分离器；7—电动机；8—输料盘；9—蜗杆；10—喷头；11—输料管；12—车架；13—下钟形阀手把；14—排气阀；15—上钟形阀手把

针对干喷存在的回弹率高与粉尘大的缺点，我国研制了湿式喷射机，主要有 51 型、冶建－76 型和 HLF－3 型等。

HLF－3 型湿式混凝土喷射机以压气为动力，由主体、分风器、配气阀、震动器、交换器、气缸、机轨和输料管等部分组成。工作原理是将搅拌好的混凝土装入罐体，压气使混凝土以很大的速度沿输料管流动，经喷嘴喷射到岩面上。

这种喷射机的动力单一，结构简单，操作方便，粉尘少，回弹率低。但是还存在出料不够均匀，输料距离短，没有合适的添加液体速凝剂等问题，有待进一步改进。

喷射混凝土材料及其配比

（1）水泥

喷射混凝土要求凝结快、早期强度高。应优先选用硅酸盐水泥或普通硅酸盐水泥，而矿渣水泥、火山灰水泥不具备这些特性，故不宜用来作喷射混凝土的材料。喷射混凝土使用水泥标号一般不应低于 325 号。

超早强水泥、煤矸石速凝早强水泥和喷射水泥等显示了速凝、快硬、早强、高强和微膨胀等优良技术性能。使用这些水泥进行喷射，不需要添加速凝剂，为提高喷射混凝土质量提供了新的水泥品种。

(2)砂

一般用中砂或粗中砂混合的石英砂为好。细砂是不适宜的,它会增加水泥用量,增加混凝土的收缩和降低混凝土的强度。过细的粉砂中含有小于 5μm 的颗粒,飞扬于空气中会影响工人的健康。砂子使用前应过筛,含泥量超过 3%的要用水冲洗。

(3)石子

可采用坚硬的河卵石或碎石,使用前应筛洗。河卵石粒径应不大于 28mm,碎石粒径应不大于 20mm,级配要适中。卵石本身强度高,表面光滑,有利于在管道内输送,可以减少堵管现象。碎石表面粗糙、多棱角,虽然在喷射时容易嵌入塑性的砂浆层内而减少回弹量,混凝土的强度也较高,但它对输料管的磨损较严重,也较易产生堵管现象。故在条件许可时,应优先采用河卵石作粗骨料。

(4)水

对水质的要求与一般混凝土相同。水质要洁净,不应含有杂质。

(5)速凝剂

速凝剂的使用效果与水泥品种有着密切的关系,不同类型的速凝剂对不同品种水泥的适应性是有差异的,因此,在使用前应根据所用水泥的性能、施工温度等条件按速凝剂出厂说明书的要求进行水泥净浆凝结试验,决定最佳掺量。掺量一般为水泥重量的 2.5% ~ 4%。要求在 3 ~ 5min 内初凝,10min 内终凝。

速凝剂的掺量必须严格进行控制,而且应在喷射前的最短时间内掺人,尽量做到随搅随喷,否则,对速凝效果和混凝土质量都有不良影响。据实验资料,掺速凝剂后,混凝土的后期强度会降低 20% ~ 30%。当速凝剂掺量为 7%时,会产生一种水泥的急凝现象,不仅达不到速凝效果,而且会大大降低喷射混凝土的强度。另外,速凝剂的吸湿性强,应妥善保管,受潮后对速凝效果有显著影响。

(6)喷射混凝土的配合比

合适的配合比应使喷射混凝土层有足够的抗压、抗拉和粘结强度,以及收缩变形值小,回弹率低。应根据不同的用途和喷射部位来确定配合比。井巷支护中喷射混凝土的重量配合比可参照表 3 – 6 选用。

表 3 – 6　喷射混凝土的重量配合比

喷射部位	配合比	
	水泥:粗中混合砂:石子	水泥:细砂:石子
侧墙	1:(2.0 ~ 2.5):(2.5 ~ 2.0)	1:2.0:(2.0 ~ 2.5)
顶拱	1:2.0:(1.5 ~ 2.0)	1:(1.5 ~ 2.0):(1.5 ~ 2.0)

还应注意,单位体积混凝土中的水泥用量不宜过多,以免造成混凝土收缩量增大和出现干裂现象。粗骨料的含量也应适当,以免增加喷射时的回弹量。实践表明,原始配合比每立方米喷射混凝土中水泥用量以 375～400kg 为宜,胶骨比为 1:(4～4.5),含砂率一般为 50%～55%。不同的配合比,喷射混凝土的性能也大不一样,如表 3－7 所示。

表 3－7　喷射混凝土的配合比对各项性能的影响

原始配合比　水泥:砂:石子	1:1:3	1:3:1	1:2:2
回弹率	大(石子过多)	大(骨材总表面积大)	较小
混凝土强度	高	较低	较高
实际水泥用量	多(回弹量大)	多(回弹量大)	较少
混凝土收缩率	较小	大	较小
综合评价	不好	不好	好

施工工艺及有关问题

(1)施工准备工作

应检查巷道断面尺寸是否符合设计要求,用高压风、水冲洗岩面并撬掉活石,埋设控制喷射层厚度的标桩,检查机械设备和管线,准备好照明和防尘设施等,以保证喷射混凝土的质量。

(2)喷射作业

调整好风压以减少回弹量,降低粉尘浓度,并应及时调整水灰比,保证喷射质量。尽量使喷头与岩面垂直,并与岩面保持 1m 左右的距离。喷射顺序应是先墙后拱、自下而上呈螺旋状轨迹移动,螺旋轨迹的直径为 100～150mm。为了保证喷射质量、提高工作效率,合理地划分喷射区段是必要的,一般以 6m 长为一基本段,基本段再分为 2m 长的三小段。喷侧墙时,每喷完 1.5m 高便依次向相邻小段推移。对于一些凹凸不平的特殊岩面,应先凹后凸,自下而上地正确选择喷射次序。遇有钢筋时,应采用近距斜向和快速“点射”的方式喷射,以保证钢筋后面喷射密实不留空隙。

(3)主要工艺参数

①工作风压

适宜的风压使粗骨料的喷出速度合适,形成的喷射动能在克服了空气阻力之后恰好与砂浆层的冲人阻力相适应,这时的回弹量最小,混凝土的质量好。假如风压不足或过大,都将造成回弹量的增加。经验表明,当输料管长度 10～15m,喷头距受喷面 1～1.2m,混凝土的配合比为 1:2:2 时,WG－25 型喷射机的工作风压一般为 0.09～0.12MPa,LHP－701 型喷射机为 0.15～0.13MPa。

②水压

水压应比风压大 0.1MPa 左右，以利于从水环射出的水能充分湿润瞬间通过喷头的混合料。一般喷头供水压力为 0.25MPa。

③水灰比

最适宜的水灰比介于 0.4～0.45 之间，给水量不足时，喷层表面出现干斑，回弹率增大，粉尘飞扬，混凝土不密实；反之，若水量过大，则混凝土产生滑移以致流淌。合适的水灰比应使刚喷射过的混凝土表面有一层水亮光泽，粘塑性好，一次喷射厚度也比较大。

④喷头与受喷面的距离及倾角

工作风压一定时，若喷头距受喷面太近，将引起灰浆四溅，回弹率剧增；若距离太远则会造成料束分散，捣固无力，骨料大量坠落。因此，调整喷头与受喷面的距离，可以使回弹率最小，并获得较高的强度，一般此距离在 0.8～1.2m 之间为适宜。

实践证明，喷头喷射方向与受喷面垂直时，回弹最小。除了喷岩帮侧墙下部时，喷头的喷射角度可下俯 10°～15°外，其他情况始终要求喷头的喷射方向垂直于受喷面。

⑤一次喷射厚度

不掺速凝剂时，一次垂直向上喷射厚度可达 30～40mm，水平厚度 70～80mm。一次喷射厚度过大，混凝土在重力作用下将发生坠落；一次喷射厚度太小，使石子无法嵌入灰浆层中。掺速凝剂后，一次喷射厚度可以增加一倍左右。

⑥喷层之间的间歇时间

间歇时间需视水泥品种、施工时的温度和速凝剂的掺量等因素而定。常温（15～20℃）下使用掺有速凝剂的普通硅酸盐水泥时，多层喷射？昆凝土的喷射间歇时间为 15～30min，不加速凝剂时应间隔 4h 左右。温度较低或采用凝结慢的水泥时，间隔时间还应适当延长。

（4）喷射混凝土施工中的几个问题

①降低回弹率及回弹物的利用

喷射？昆凝土施工时，部分材料回溅落地是难以避免的。回弹物的多少与喷射作业中各个施工环节都有关系，而其中以拌合料中粗骨料的含量，使用的水泥及速凝剂质量，混合料的均匀度，喷射机能否在合适的风压下连续供料，以及喷射手掌握水灰比和操作喷头的技术等尤为关键。实践证明，只要严格要求，提高操作技术，就可以把回弹量控制在一个较小的范围内，即侧墙回弹率在 15%左右。

应重视回弹物料的回收与利用，一般就地回收作为骨料，用于浇灌混凝土水沟、地板或预制水沟盖板等。对于次要的、服务年限较短的巷道，亦可将回弹物料掺人新拌合料

中重新喷射,但掺入量不应超过新骨料的30%。

②减少粉尘问题

降低粉尘浓度的主要措施有:

a)加强水泥与水的混合,抑制粉尘的产生。首先,适当加大骨料的含水率,对减少粉尘、防止细颗粒水泥飞扬具有较好的作用。干喷工艺可容许的砂石平均含水率为5%左右,对干燥的砂石骨料应在搅拌前适量地喷水。

b)加强通风除尘,稀释粉尘浓度。在独头巷道进行喷射混凝土作业时,采用抽出式与压入式相结合的混合式通风,可以降低粉尘浓度。

c)使用湿喷机,发展湿喷工艺,是消除或减少混凝土粉尘的根本途径。近几年来,国内外在研究发展湿喷工艺方面取得了不少进展,可降低粉尘浓度40%以上,减少回弹10%,提高混凝土的强度10%~21%。